

Estudio de los condicionantes para la formación de una ola óptima para la práctica de surf

Trabajo Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Álvaro Fernández Alegre

Dirigido por:
Xavier Martínez de Osés

Grado en Náutica y Transporte Marítimo
Barcelona, 09 de Enero de 2018
Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica

INTRODUCCIÓN

Las olas, las grandes protagonistas de nuestro deporte. Cada día miramos los partes de previsión para saber si habrá olas, y en torno a ellas organizamos el día, la semana, los viajes, el trabajo, casi todo... La vida de un surfero gira en torno a las olas, por eso es interesante saber un poco más sobre ellas, qué las origina, sus características, los distintos tipos de olas, etc.

Es por ello, que este trabajo consiste en el estudio de los parámetros que definen la ola óptima para el surf. Cabe destacar que toda la información necesaria para entender el ciclo del agua en nuestro planeta es imposible resumirla en un simple trabajo académico, nuestro planeta está formado por $\frac{3}{4}$ partes de agua y es evidente que a día de hoy aún no tenemos explicación de muchos de los procesos que tienen lugar en nuestro planeta.

La unión del ser humano con el agua es más íntima aún, el agua representa casi un 70% del cuerpo humano. Es, pues, evidente que nuestra misma esencia va ligada a la fuente de la vida; y es en el mar donde confluyen todos los miedos más irracionales del hombre hacia lo desconocido. Desde el origen de las civilizaciones más antiguas el hombre ha querido conquistar el vasto mundo desconocido del mar, y hasta nuestros tiempos modernos podemos afirmar que “solamente conocemos un 5% de los océanos” como afirma *Sylvia Earle* exploradora submarina en una entrevista en *El País* (22/05/2005). Únicamente una vez, en 1960, el hombre ha bajado al fondo del mar, a 11 kilómetros de profundidad en la Fosa de las Marianas del Océano Pacífico. Y no solamente desconocemos lo que hay dentro del mar sino también todos los procesos que afectan a la misma dinámica atmosférica de la Tierra. El agua del planeta, su atmósfera y la energía recibida por el Sol forman un perfecto sistema exclusivo en nuestro sistema Solar para la aparición de la vida.

Son estos tres elementos los que rigen todos los procesos en la Tierra: la formación de las Altas y Bajas Presiones, la circulación del aire, la creación de nubes y precipitación y la creación del oleaje, es el ciclo del agua.

En este trabajo intento esquematizar y simplificar todos estos procesos y pretendo definir la vida de una ola o, como más adelante veremos, de un paquete de energía en movimiento. Creo que hay una parte de todos nosotros que siente y ama el mar, hay algunos que navegan y aprovechan los vientos, hay algunos que se sumergen y exploran mundos insólitos y nosotros, los surfers fluimos con la energía que transportan las olas. Para leer y comprender este pequeño trabajo no hace falta ser un gurú del Surf, solamente se necesita un poco de curiosidad y amor por el océano.

Para la recopilación de toda la información me he ayudado de libros, revistas, artículos, vídeos y diferentes trabajos que se han publicado en temas como la Oceanografía, física del oleaje, hidrodinámica costera, etc...

Las cuestiones que intento responder son tales como: de dónde vienen las olas, qué hace que cada ola o tren de olas sea diferente, por qué unas olas rompen de manera uniforme y otras no, en qué afecta las mareas en las olas de surf y qué factores hay que tener en cuenta en nuestro Surf Spot ¹ para poder surfear. Además, intento explicar cómo podemos leer un parte de olas o *Surf Report* y según la información que nos proporcione saber a qué playa ir.

La vida de una ola empieza mucho más lejos y muchos días antes de que llegue a nuestra playa y la podamos surfear, ése viaje, desde la tormenta en medio del océano hasta la disipación de las olas es también muy importante para saber dónde y cuándo podremos surfear. La pasión de mucha gente por propulsarse por unos segundos en una ola ha hecho que hoy en día tengamos la información necesaria al alcance de la mano, o el móvil, y podamos conocer qué sucede en nuestro spot en cada momento.

“EL OCÉANO CUBRE ALREDEDOR DEL 72% DE LA TIERRA, Y NO IMPORTA DÓNDE VIVAS, SI ES DIRECTAMENTE EN LA COSTA O EN EL INTERIOR. TODOS ESTAMOS CONECTADOS AL OCÉANO. EL OCÉANO NOS PROVEE DE MÁS DE LA MITAD DEL OXIGENO QUE RESPIRAMOS, REGULA EL CLIMA GLOBAL Y NOS PROVEE DE UNA QUINTA PARTE DE LA PROTEÍNA QUE COMEMOS; ES LA FUENTE MÁS PROMETEDORA DE AVANCES MEDICINALES Y ES UNA FUENTE DE TURISMO EN LAS ZONAS COSTERAS. EL OCÉANO TE CUIDA, CUIDA TU DE ÉL.”

Perhentian Marine Research

¹ Surf Spot: zona costera (playa, acantilado, puerto natural, laguna, etc...) dónde se puede practicar el surf.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
1 DINÁMICA ATMOSFÉRICA GENERAL	8
2 FORMACIÓN DE LAS DEPRESIONES	14
3 CREACIÓN DE LAS OLAS EN LOS OCEANOS	16
4 PROPAGACIÓN DE LAS OLAS.....	19
4.1 Formación de grupos o series.....	21
4.2 Velocidad de la ola y velocidad del Swell	22
4.3 Seguimiento del “Swell”	23
5 LAS OLAS EN AGUAS POCO PROFUNDAS	24
5.1 Refracción.....	25
5.2 Transformación en la altura de las olas.....	26
6 OLAS DE SURF.....	28
6.1 ¿Por qué y cuándo romperá una ola?	28
6.2 Partes de una ola en el Surf.....	29
6.3 Otros factores que influyen al romper una ola	30
6.4 Perfiles de rompiente de una ola y su clasificación según el número de lribarren	30
6.5 Cómo leer las olas	33
7 LAS MAREAS	34
8 LAS CORRIENTES.....	36
8.1 Tipos de corriente.....	37
9 PREVISIÓN DEL OLEAJE “SURF FORECASTING”	39
9.1 Cómo leer un parte de olas.....	41
10 CONCLUSIONES	43
11 BIBLIOGRAFIA	45
12 FIGURAS.....	46

1 DINÁMICA ATMOSFÉRICA GENERAL

Empezaré explicando la primera fase o etapa del viaje de una ola, que también la podemos llamar como “paquete de energía”. Mucho antes de la formación de una ola deben producirse una serie de condiciones de compleja naturaleza que se suceden en la atmósfera de nuestro planeta. Dichos procesos se inician a causa de la radiación solar y se crean los sistemas atmosféricos de las Depresiones y los Anticiclones. Podríamos definir todo este conjunto de procesos como un patrón de la circulación general atmosférica.

Debemos tener en cuenta, además, la **Fuerza de Coriolis** ya que es un movimiento fundamental que afecta en todos los estudios relacionados con la meteorología y la oceanografía. Esta fuerza de Coriolis hace que las masas de aire en los centros de Bajas y Altas presiones de la atmósfera roten y se muevan de la manera en que lo hacen; también afecta en las corrientes oceánicas que circulan alrededor del globo terrestre y hace que las mareas roten alrededor de unos ejes imaginarios llamados *Puntos Anfidrómicos*.

La teoría moderna sobre la circulación atmosférica global explica bastante bien el movimiento de las masas de aire caliente y frío del globo terrestre. Como ya hemos comentado anteriormente el efecto del Sol regula todo este proceso; en la zona ecuatorial existe una mayor incidencia del calor del Sol y este aire se vuelve más ligero y se eleva de la superficie. Esto causa una zona de baja presión llamada *Calmas Ecuatoriales*. Cuando esta masa asciende se dirige hacia los polos y a causa de la fuerza de Coriolis tomará un desvío hacia la derecha de su trayectoria en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur. Cuando el aire caliente llega a los Polos se enfría y vuelve a descender ya que se torna menos ligero. Esto produce una alta presión en los polos y la masa de aire tiende a volver a la zona ecuatorial (Baja presión).

Esta distribución media de las corrientes de aire sobre la Tierra a gran escala las podemos representar según dos criterios: el criterio térmico (figura 1) y el criterio dinámico (figura 2).

El criterio térmico debido a la influencia del Sol: éste calienta el aire, que sube a las capas más altas de la atmósfera. Allí se enfría y al pesar más vuelve a bajar. La ascensión de aire caliente y húmedo produce una zona de baja presión en la superficie y una zona de borrasca en las primeras capas de la atmósfera. Se produce una zona de convergencia del aire e inestabilidad donde aparecen las nubes.

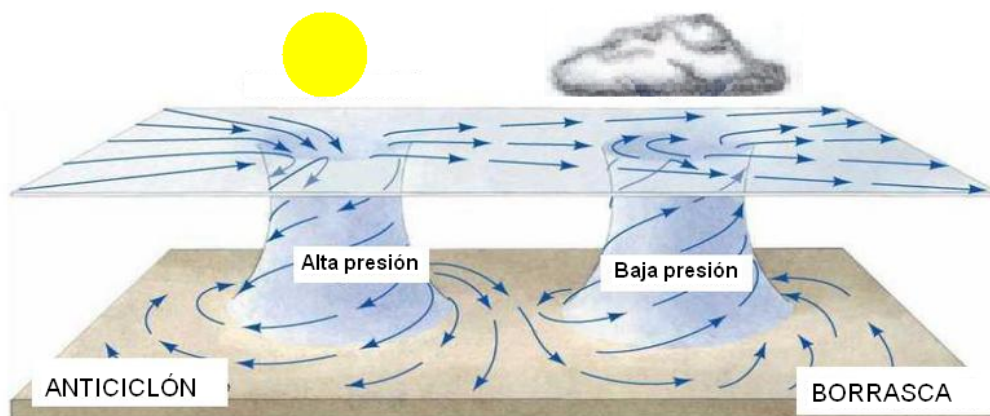


Figura 1. Criterio térmico

El aire que desciende frío sobre los Polos normalmente se asocia a un tiempo anticiclónico sin nubosidad y generalmente sin precipitaciones, porque produce una zona de Alta Presión en la superficie.

El **criterio dinámico** debido al movimiento de la Tierra: se produce un torbellino cilíndrico en dirección Oeste – Este debido a la rotación de la Tierra.

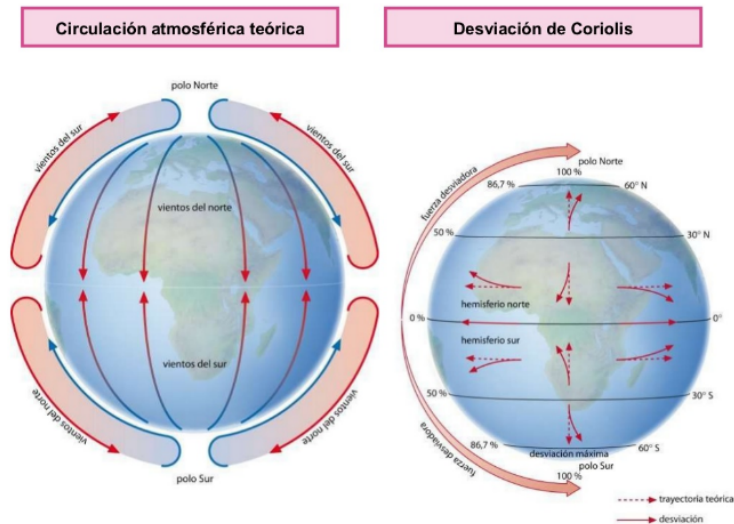


Figura 2. Criterio dinámico de la atmósfera

Estos dos factores combinados, influyen en la circulación general atmosférica, dando lugar al **esquema tricelular**.

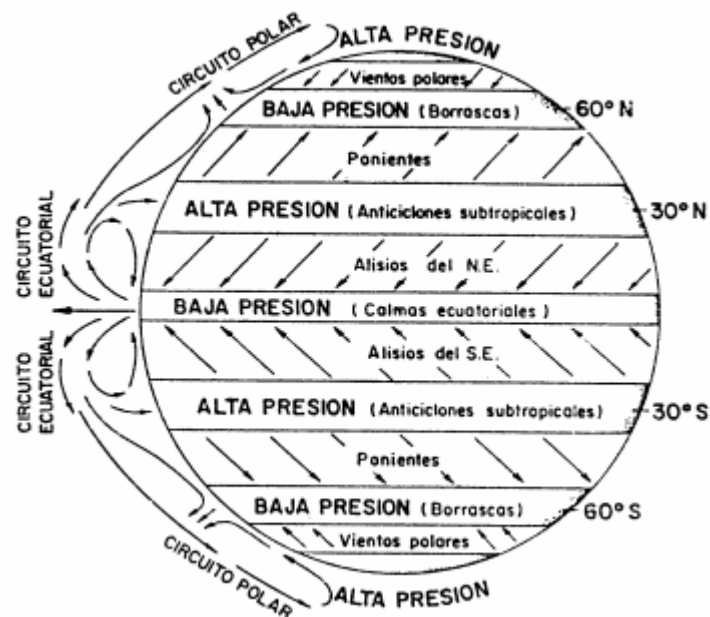


Figura 3. Esquema tricelular

Además del movimiento rotacional de la Tierra sobre su mismo eje debemos sumar el complejo movimiento orbital de nuestro planeta alrededor del Sol. También debemos tener en cuenta que la Tierra tiene su eje central inclinado unos 23.5 grados y el movimiento sobre el plano de la eclíptica alrededor del Sol produce las estaciones de forma que el polo que esté más orientado al Sol en un hemisferio, recibirá más radiación que el otro hemisferio. El ángulo que presenta la cara de la Tierra que recibe los rayos solares y, en consecuencia el calor que recibe varía mucho durante el año en los Polos y menos en el Ecuador (Moral Villar, 2003). Esto causa más variaciones en las temperaturas de los Polos que en el Ecuador. Por ejemplo, en febrero, el Polo Norte es mucho más frío que el Ecuador; en cambio, en agosto, en el Polo Norte se templó un poco más la temperatura y en el Ecuador sigue casi a la misma temperatura que en febrero. Por lo tanto, esto significa que en invierno la diferencia de temperaturas entre los Polos y el Ecuador es muy grande; y en verano la diferencia de temperaturas es muy pequeña.

Por lo tanto; siguiendo la idea principal de que el movimiento de las masas de aire se debe a la diferencia de temperaturas, podemos ver que el movimiento de aire es más intenso durante los meses de invierno debido a la gran diferencia de temperaturas. Eso nos dará más viento, borrascas más intensas y olas más grandes en invierno que en verano.

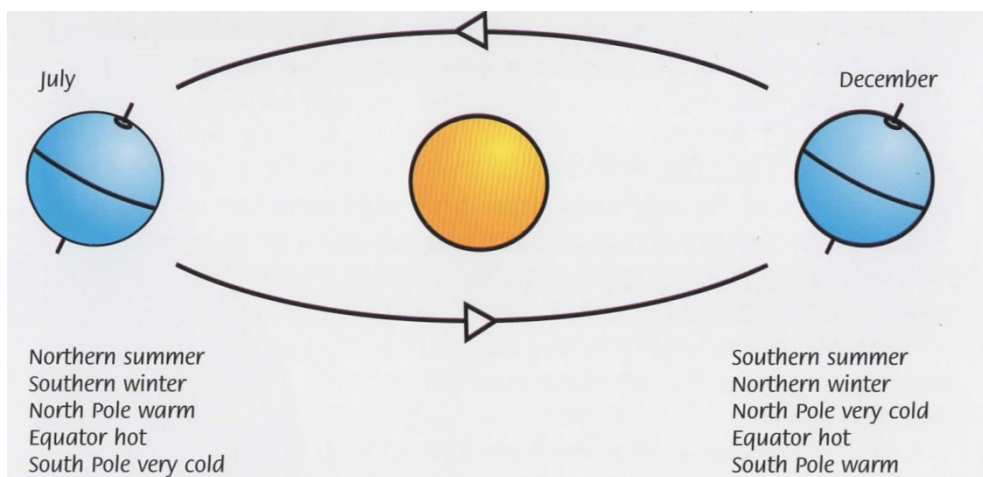


Figura 4. Inclinación de la Tierra respecto al Sol

Todos estos factores que modelan los movimientos del aire a gran escala consideran la Tierra como un planeta homogéneo solo formado por agua; ahora deberemos considerar la Tierra tal y como es: formada por agua y continentes.

El primer factor que debemos saber es que la tierra y el agua responden de diferente manera cuando se les aplica calor o frío, cuando varían su temperatura. El agua posee un calor específico mayor que la tierra, es decir, debemos aplicar más poder calorífico en la misma superficie de agua para calentarla que esa misma superficie en la tierra. Por lo tanto, se tardará más en calentar o enfriar esa masa de agua mientras que ocurrirá al contrario en la tierra. Mientras la temperatura de los continentes puede variar algunos grados de temperatura durante el año, el océano casi siempre mantiene un baremo constante de temperatura.

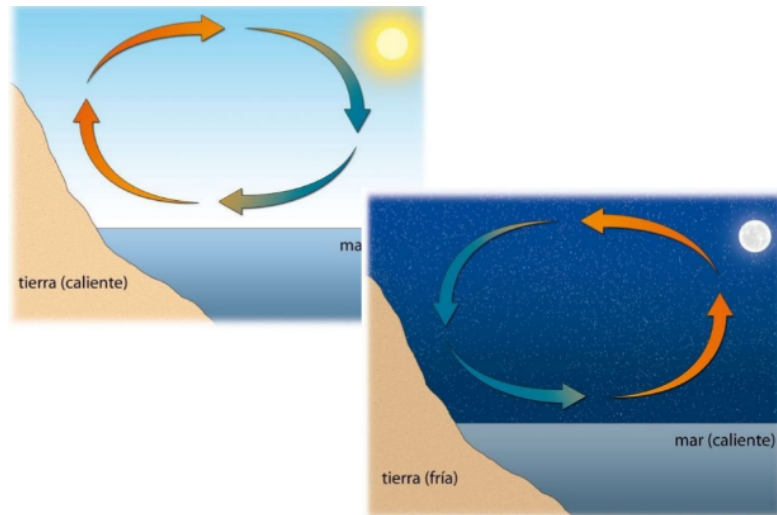


Figura 5. Esquema de la brisa marina de día y de noche

En nuestro estudio del oleaje, este factor nos afecta ya que en verano la tierra está más caliente que el mar, y en invierno el mar está más caliente que la tierra. Como resultado de este cambio de temperaturas se produce más convección en la tierra que en el mar en verano, y al contrario en invierno. Eso produce de por sí la aparición de un patrón de baja presión en la tierra y de alta presión en el mar en los meses de verano, y ese patrón cambia en invierno cuando la alta presión está en la tierra y la baja presión en el mar. Si además le sumamos la fuerza de Coriolis que afecta a todo movimiento en nuestro planeta podremos ilustrar el modelo en la siguiente figura.

Así podemos predecir el movimiento que tendrán las borrascas (principales actores de la formación de olas) durante todo el año en los dos Hemisferios.

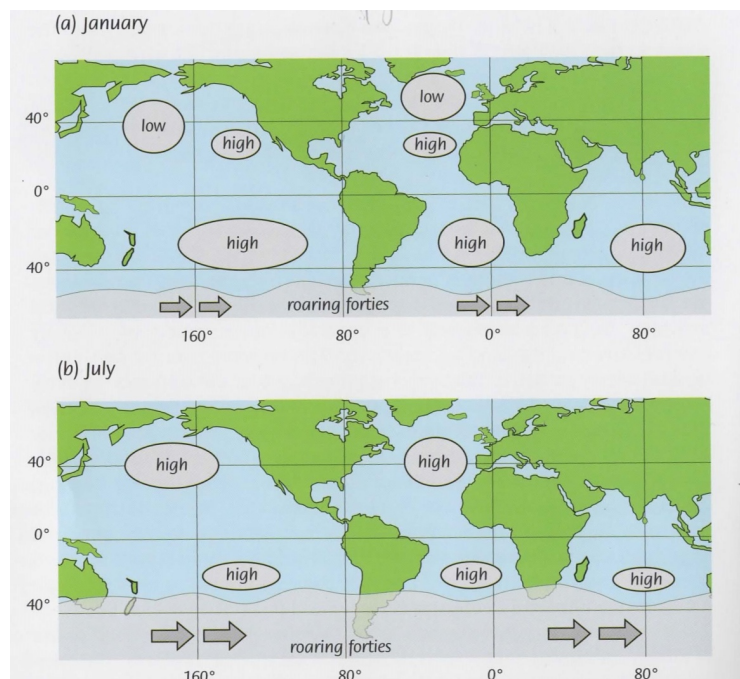


Figura 6. Ilustración simplificada de los patrones anuales de borrascas y anticiclones durante todo el año

Vientos locales en la costa

La consecuencia directa de estos cambios de temperatura en una misma zona costera donde se encuentran el mar y la tierra son los vientos locales: **la brisa marina y la brisa de tierra**. Aunque la primera idea de la palabra Brisa se pueda asociar con ese suave viento que hace de un paseo por la costa sea apetecible; la verdad que puede afectar de manera notable al “Swell²” ordenado que llega a la playa.

Este fenómeno afecta a pocos kilómetros de la costa y produce un viento *Onshore* –brisa marina- (en dirección a la costa y afectando por detrás a las olas) desordenando las olas, haciéndolas menos potentes, que rompan de manera espumosa o que cierren rápidamente. Y también se produce el viento *Offshore* -brisa de tierra- (en dirección al mar y en contra de las olas) ordenándolas y proyectando en la pared una fuerza justa para que al romper puedan aparecer los buscados tubos, elevan y mantienen la cresta aumentando la curva de la ola.

El mecanismo responsable de la brisa marina es muy simple. Todo deriva del hecho que la tierra y el mar son dos sustancias diferentes y evolucionan de manera diferente cuando se calientan o se enfrían. La tierra se calienta y se enfría rápidamente mientras que el mar necesita más tiempo para cambiar su temperatura.

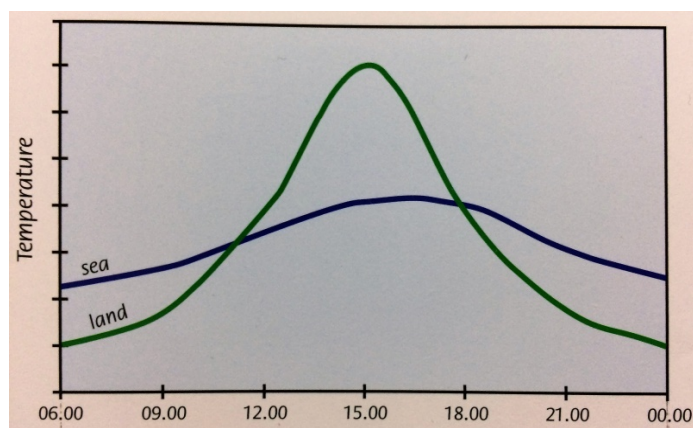


Figura 6. Tabla representativa del Calor Específico del mar y la tierra

Esta diferencia en la variación de temperatura es debido al calor específico de cada sustancia como ya hemos comentado en párrafos anteriores. Esto significa que, para la misma cantidad de energía solar, se incrementará más la temperatura en la tierra que en el mar. La tierra responde inmediatamente a cualquier entrada de energía y no tiene la capacidad de absorber esta energía por lo tanto sube la temperatura. En cambio, el mar tiene capacidad de retener esa misma cantidad de energía y le afecta lentamente en su temperatura. Por la mañana, antes de que salga el Sol, la temperatura del agua y de la tierra varía pocos grados. Pero a medida que va pasando el día, la energía solar afectará de tal manera que a mediodía la temperatura de la tierra es considerablemente mayor que la temperatura del mar.

² Swell: traducción al inglés de Mar de Fondo, oleaje regular que viaja libre de la influencia del viento generador.

El aire de la tierra, por lo tanto, estará más caliente y tenderá a ascender ya que es menos denso; este proceso se llama **Convección**. Luego el aire caliente que asciende debe ser reemplazado por el aire frío del mar y produce el viento On-Shore o Brisa Marina; y este proceso se llama **Advección**.

Cuando la altura del Sol es muy baja y la energía solar que transmite disminuye, la temperatura de la tierra bajará de forma drástica, en cambio la temperatura del mar seguirá más o menos estable. Entonces, el aire frío de la tierra hará que se desplace el aire cálido que antes había y producirá el viento Off-shore o Brisa de Tierra.

2 FORMACIÓN DE LAS DEPRESIONES

Sin lugar a duda, el fenómeno más importante para producir las olas que nosotros surfeamos son las **Bajas Presiones**, también llamadas **Borrascas** o **Depresiones** y Ciclones Tropicales cuando se producen con mucha fuerza en la zona Tropical.

La Baja Presión es una masa de aire donde su presión es más baja que las masas de aire de su alrededor. Sin embargo, gracias a la Fuerza de Coriolis, también produce un efecto remolino con velocidad que genera las olas en el mar; habiendo transmitido la energía del viento al agua. A medida que la diferencia entre el centro de la depresión y el aire de su alrededor es mayor, el viento producido y la energía que transmitirá será lo suficientemente potente como para generar olas de gran tamaño.

La formación de las depresiones es un tema complicado para cualquier científico, existen muchos tipos de frentes, sistemas de bajas presiones etc. Mi intención es explicar de una forma llana y precisa por qué las Depresiones o Borrascas pueden llegar a crear verdaderas paredes de agua que viajan a una velocidad más grande de lo que pensamos.

Cuando dos masas de aire de diferente temperatura se encuentran hay un cambio de presión en una zona concreta. La atmósfera de esa zona se torna inestable y si la perturbación es lo suficientemente fuerte el frente creará las olas que crecerán y se intensificarán.

En las depresiones el viento tiene tendencia a desplazarse hacia su centro donde se acumula y asciende verticalmente. Al elevarse, la masa de aire se expande y se enfría. Si se dan las condiciones de temperatura y humedad necesarias, el vapor de agua sobrante del aire se condensa generando las nubes. En los anticiclones ocurre lo contrario. El viento tiene tendencia a dispersarse desde el centro del sistema hacia el exterior. Se produce un movimiento descendente y como consecuencia una compresión y un calentamiento. Esto explica que en los anticiclones no haya nubes.

El proceso del aire cálido subiendo hacia capas más altas debido al empuje del aire frío genera unos vientos localmente fuertes y una pequeña zona de baja presión que actuará como remolino succionador del aire de su alrededor. Este aire que se mueve de las Altas Presiones a las Bajas Presiones se ve afectado por la fuerza de Coriolis y empezará a circular alrededor del centro de perturbación en dirección anti-horaria en el Hemisferio Norte y horaria en el Hemisferio Sur.

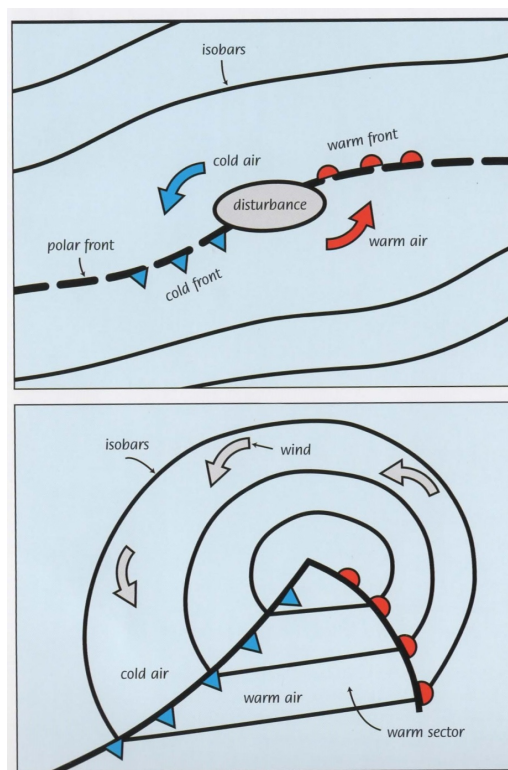


Figura 8. Formación y desarrollo de una baja presión

En ambos hemisferios, existe el frente polar que separa el aire frío polar con el tropical, más cálido que proviene del Ecuador. Cuando se encuentran estas dos masas de aire de diferente temperatura se forma un centro de Baja Presión o Borrasca, ya que el aire cálido es menos denso que el aire frío y tenderá a desplazarse verticalmente.

El viento que sopla alrededor del sistema será lo suficientemente fuerte como para generar grandes olas. Mientras más tiempo se mantengan estos vientos, más grandes serán las olas generadas. Además, si la zona de perturbación es grande, mayor será la distancia que afectaran estos vientos; el área del océano que se ve afectado por los vientos de las Borrascas se denomina: Fetch.

Por lo tanto, los factores esenciales para la creación de olas (swell) son la velocidad del viento, el área que se ve afectada y la duración.

Cuando una Baja Presión contiene un gran fetch que se origina en el medio del océano creará un buen swell, ya que las olas tendrán mucho tiempo y distancia para ordenarse antes de llegar a la costa. Si además este swell le acompaña en la misma dirección la perturbación que genera los vientos, estarán continuamente bombeando energía a la superficie del mar, estos casos son los que crean los grandes swells.

En los mapas del tiempo, un sistema de Baja Presión es fácilmente reconocible por la aparición de líneas isobaras (misma presión) compactadas en una misma zona. Si estas líneas están muy juntas significará que la diferencia de presión en esa pequeña distancia es muy grande, el aire que fluye alrededor hacia el centro de la perturbación es mayor y los vientos más fuertes.

La velocidad del viento alrededor de una Baja Presión se puede calcular con la Ecuación del Viento Geostrófico:

THE GEOSTROPHIC EQUATION

$$windspeed = \frac{1}{Coriolis} \times pressure\ gradient$$

*Figura 9. Ecuación del viento
geostrófico*

3 CREACIÓN DE LAS OLAS EN LOS OCEANOS

La formación del oleaje en mitad de los océanos es un tema poco estudiado hasta hace no mucho tiempo. La conclusión que podemos sacar hoy en día es que las olas oceánicas pueden viajar a grandes distancias sin apenas perder su amplitud.

Según explica en su libro el profesor X. Martínez de Osés (Martínez de Osés, 2006) las olas son variaciones u ondulaciones “ripples” de la superficie del mar que aparecen en consecuencia de la interacción del aire en movimiento y el mar. Los factores que influyen en la aparición de las olas son: la presión atmosférica, la profundidad y el tipo de fondo marino, las características propias del mar (salinidad y temperatura) y el viento local.

Es evidente que el viento es el factor más influyente en la creación de olas; ya hemos explicado anteriormente cómo se crea el viento y la circulación atmosférica general y ahora nos centraremos en el traspaso de energía del viento al mar.

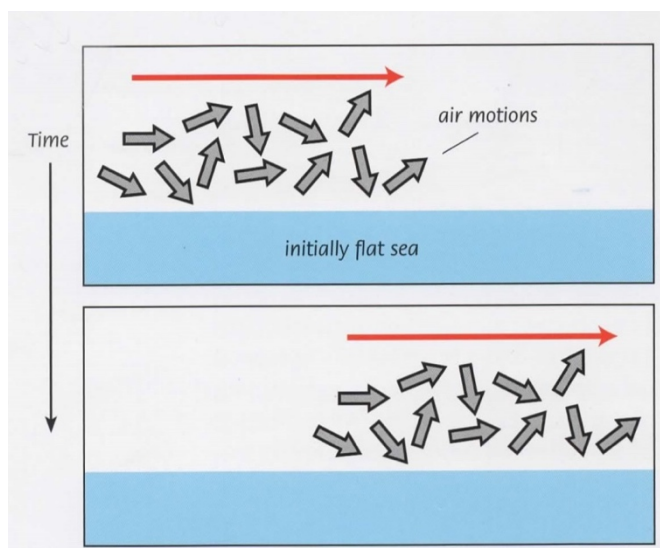


Figura 10. Representación de las diferentes direcciones del aire cuando sopla en la superficie del mar

La altura de las olas es proporcional a la intensidad del viento local, aunque primero debe vencer la resistencia por viscosidad que opone el agua; unos 5 nudos. Por lo tanto, la velocidad mínima a considerar para la creación de oleaje será de 6 nudos. También debemos saber que la altura media de la observación del viento en el mar son 10 metros. Ya que es $2/3$ la velocidad del viento en la capa límite o no perturbada.

La zona donde se forman las olas por efecto del viento se denomina *Área Generadora* y como ya hemos visto anteriormente se sitúan en las zonas de influencia de las depresiones móviles o bajo las grandes depresiones estacionarias.

Para saber cómo evolucionarán las olas y que tamaño tendrán debemos saber la intensidad del viento, la dirección, el periodo de tiempo y la distancia (fetch) que afectará el viento en esa *Área Generadora*. Sabemos que la creación de olas precisa de unos factores y de un tiempo determinado pero una vez creadas y al propagarse deberá pasar mucho más tiempo hasta que la ola desaparezca o se transforme.

Los parámetros que definen las olas son:

- **Amplitud:** desplazamiento vertical del agua desde su punto inicial.
- **Altura:** distancia entre el punto más bajo hasta el punto más alto de la ola. Es el doble de la amplitud.
- **Periodo:** tiempo que tarda en pasar una cresta tras la siguiente.
- **Longitud:** distancia horizontal entre sucesivas crestas.
- **Velocidad:** rapidez de la propia traslación de la ola.

Se producen dos tipos de espectro de olas: el **mar de viento** y el **mar de fondo**. En el primer espectro el mar viene producido por el viento local que aparece en una Borrasca o Anticiclón, se caracteriza por generar olas agudas, de longitud corta y de altura irregular. Cuando el mar de viento abandona el área generadora y no le afecta el viento local se forma el mar de fondo (swell). Éste siempre presenta un perfil de olas sinusoidal, con las crestas redondeadas y una longitud muy superior a su altura que es regular. Esto es debido a que las ondas formadas se han ido agrupando y ordenando según su velocidad y longitud; este aspecto lo definiré en el siguiente tema.

Como ya hemos comentado la formación de oleaje necesita la acción del viento durante un tiempo y un espacio. Si las condiciones no sufren ninguna variación se podrá desarrollar la altura máxima de las olas en cada combinación de intensidad de viento, persistencia y fetch. Cuando se alcanza la condición máxima se denomina *FDS Fully Developed Sea*. Aunque raramente ocurre esta situación ya que la intensidad del viento y la dirección van cambiando a medida que el sistema depresionario se desplaza por el océano.

El viaje de las olas sigue en la dirección del viento generador hasta llegar a aguas poco profundas (aguas someras), es ahí donde la velocidad se ralentiza de una forma más o menos drástica y la ola se vuelve inestable hasta que rompe. Este fenómeno se denomina “tocar fondo” (shoaling) y se produce cuando la profundidad es menor de la mitad de la longitud de ola; esta relación es 5/3 que significan 3 pies de altura de ola para 5 pies de fondo. Las olas aumentan su agudeza haciéndose más cortas y altas cuando hallan un fondo de profundidad igual a 1,3 veces la altura de la misma. En este caso podemos calcular con una *carta de veriles* y conociendo la altura de las olas cuándo romperán las series del Swell cuando lleguen a nuestra playa.

GENERACIÓN DE OLAS (viento) → DESPLAZAMIENTO (swell) → FIN (shoaling)

Los diferentes parámetros que definen las olas se relacionan entre sí de la siguiente manera:

- **Altura:** $H = 5 T^2$ (periodo)
- **Longitud:** $L = 1.5 T^2$
- **Velocidad:** $V = 3 T$

Una vez resumida la vida de las olas; nos enfocaremos en el momento más crítico de la ola, cuando rompe. Puede romper en mar abierto por la fuerza del viento o en mares poco profundos por el contacto del fondo. A continuación, detallaré los diferentes momentos y las causas de la limitación de las olas.

Cuando un viento afecta sobre la superficie del mar se empiezan a levantar olas de corto periodo, pequeñas y lentas. A medida que el viento transfiere su energía al mar, la velocidad de las olas se iguala a la velocidad del viento llegando entonces a una situación tope en cuanto a su periodo y las demás variables relacionadas.

Esta situación que se da en alta mar puede llegar a provocar que las olas rompan y formen espumosos borreguitos o "White horses". Para llegar a este límite la agudeza de la ola debe alcanzar la relación de altura $H: L/13$; es decir, en aguas profundas únicamente rompen las olas que tienen una pendiente acusada y son tan inestables que la velocidad de las partículas de agua de la cresta sea superior a la velocidad de avance de la ola, saliendo así el agua de la cresta hacia delante.

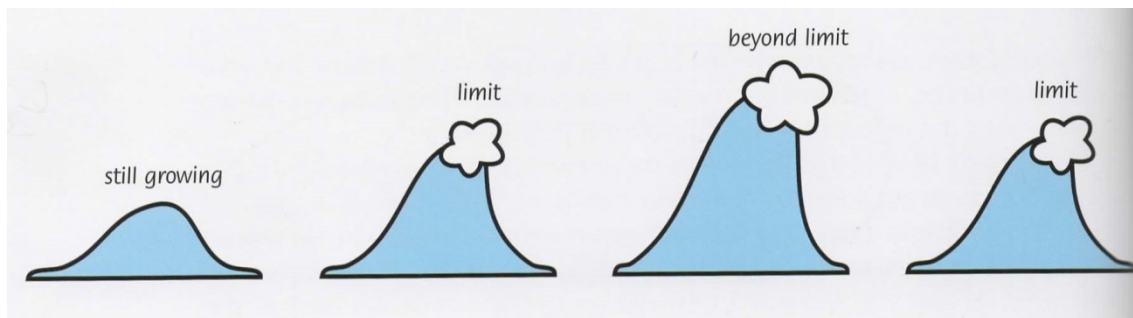


Figura 11. Progresión de una ola

La inestabilidad de la ola también depende de la edad de la ola; cuando la velocidad del viento es superior a la de la ola, ésta es joven. En cambio, cuando la velocidad del viento es inferior a la ola, ésta es vieja.

INESTABLE 0 = velocidad de avance / velocidad el viento generador = 1 ESTABLE

Aunque el estado final de las olas nunca viene determinado por un solo factor como es el viento generador, sino además debemos tener en cuenta el efecto de los trenes de olas de mar de fondo que ya se han levantado en otras partes por otros vientos. Debemos saber que en el mar están siempre todas las partículas en movimiento. La expresión que resulta de la altura de la ola será:

$$H_s = (H_{fdo}^2 + H_{vto}^2)^{1/2} \quad (\text{I. R. Young, 1996})$$

Por lo general, el mar nunca alcanza el estado de equilibrio; si el viento crece, favorece la creación de olas, pero si declina el tren de olas supera el viento generador. Debemos tener en cuenta, por lo tanto, la variabilidad del viento.

Dejando de lado la teoría, existe una regla entre los marinos que relacionan de manera aproximada la altura de la ola en pies a la mitad de la velocidad del viento en nudos. Además, la velocidad de las olas será mayor que la del viento cuando éste sople por debajo de los 25 nudos, mientras que las olas serán más lentas cuando los vientos sean superiores.

Una vez el tren de olas generado abandona la influencia del viento, se extenderá por el océano y aunque se disipará una pequeña porción de su energía debido al rozamiento, trazará una derrota de círculo máximo alrededor de la tierra.

4 PROPAGACIÓN DE LAS OLAS

Como idea principal que podemos extraer del libro del profesor X. Martínez de Osés (Martínez de Osés, 2006) es que en el mar participan un gran número de componentes y elementos que hacen que el mar nunca esté en equilibrio. Siempre existen diferentes tipos de olas, con sus parámetros de período y altura diferentes y que se desplazan a velocidades distintas.

En este apartado nos detendremos en la interacción de todas las diferentes olas y sus componentes. Estos grupos o series de olas con una velocidad y dirección es lo que denominamos “Free Swell”, formación que estudiamos de dónde proviene y hacia dónde se dirige para que al llegar a aguas poco profundas rompan las olas para los surfistas.

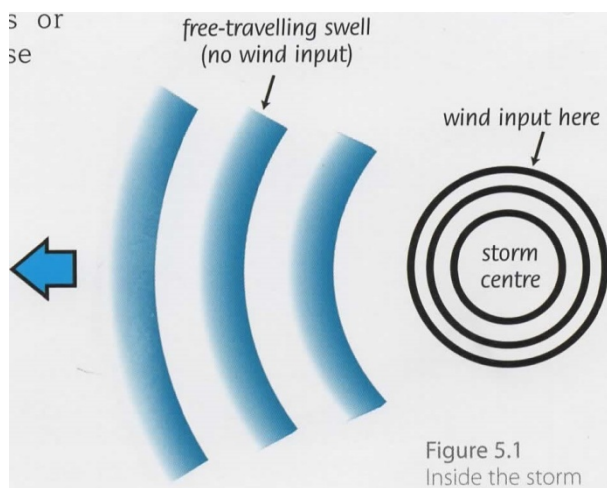


Figura 12. Dentro de la tormenta el viento transfiere su energía a las olas; fuera de la tormenta las olas viajan si la influencia del viento

El “swell” se forma a partir de que el mar de viento y sus olas poco a poco se alejen del Área Generadora. A medida que avanzan con su propia velocidad sin que le afecte el viento generador las olas empezarán a mezclarse y ordenarse hasta que se establezca la misma distancia entre las olas (longitud). Estas olas se comportan como mensajeros de Energía y viajan por el mar como lo hacen las ondas de sonido, por ejemplo. Aunque es difícil de imaginar, las olas no desplazan agua de un lugar a otro como si fueran corrientes marinas, cada partícula del mar que se ve afectada por el tren de olas acaba donde empieza sufriendo un movimiento circular.

A medida que el swell se aleja del centro de la tormenta, el frente se extiende en una zona más amplia. La pérdida de Energía no es significativa pero cada vez debe repartirse en un área mayor así que se verá afectada la altura del tren de olas. A mayor distancia del centro del swell, mayor dispersión en el área y menor será la altura de las olas.

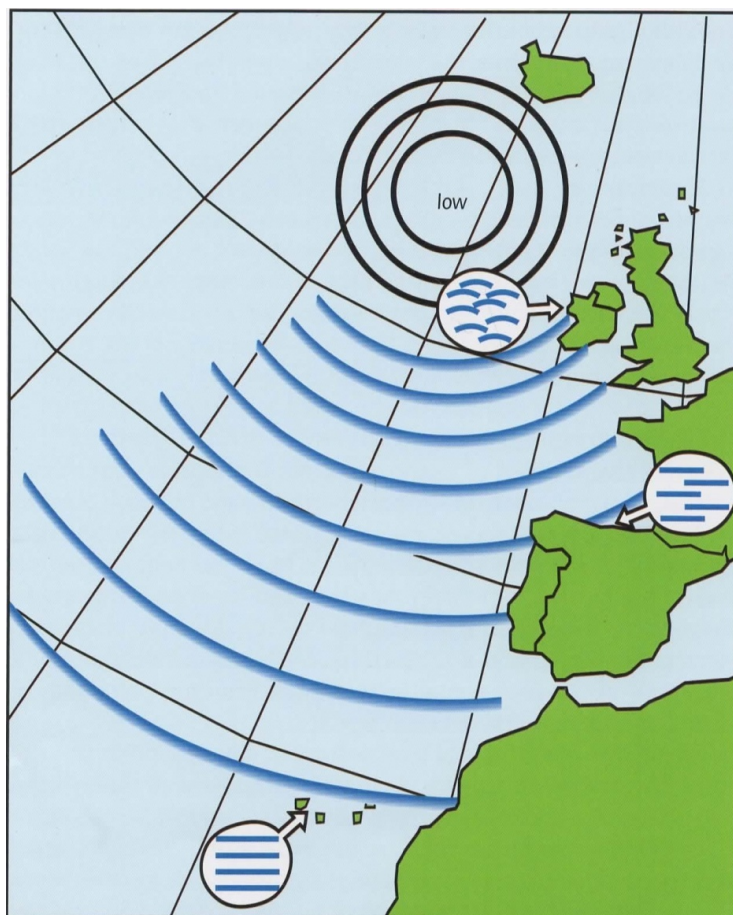


Figura 13. Representación de una Borrasca en el NE de Irlanda que viaja hacia el Sur. Cuánto más viaja el Swell, más ordenadas llegan las olas a la costa

Como ya hemos explicado anteriormente dentro del Swell existen diferentes tipos de olas, con diferentes periodos; olas largas y más rápidas, olas cortas y más lentas. A medida que se desplazan y en un periodo de tiempo donde las olas rápidas puedan sobrepasar las lentas; las olas se irán agrupando según su velocidad. En la parte delantera del swell estarán las olas con un periodo más largo (olas rápidas), en la parte intermedia olas de menor velocidad y en la parte final del swell se agruparán las olas más cortas. Este hecho causará la formación de grupos o series, que en el aspecto del surf son muy importantes cuando estamos en el agua estudiando qué ola cabalgar.

El oleaje llega muy bien definido a la costa, con longitudes de onda de más de 100 metros y periodos de más de 10 segundos. Eso forma olas casi perfectas para la práctica del surf.

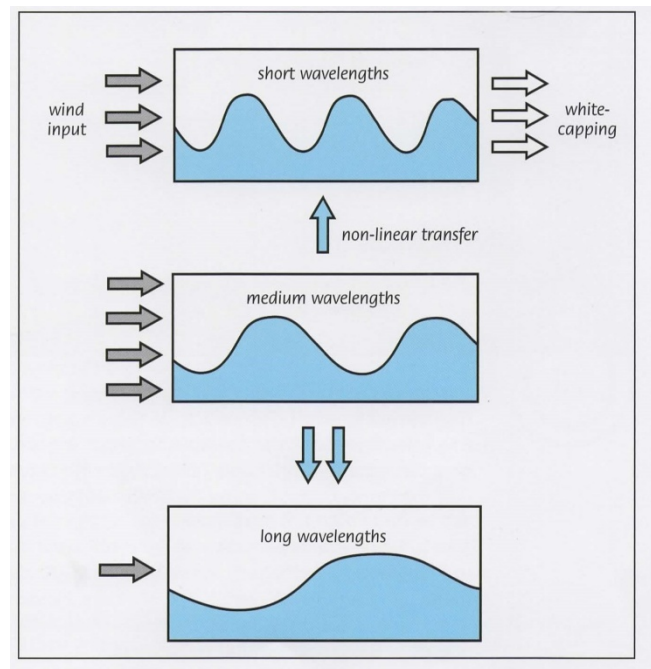


Figura 14. Tipos de ola según el input de viento que reciben

4.1 Formación de grupos o series

Las olas tienden a establecerse en grupos de viajes más o menos estables y predecibles. La conjetura más extendida es que las olas viajan agrupadas de tres en tres hasta formar grupos de nueve, siendo las tres primeras las más pequeñas, las siguientes de tamaño mediano y las tres últimas las grandes; y así sucesivamente. Aunque la agrupación no siempre es igual, aquí podemos ver algunos ejemplos de cómo nos llegan las olas a la costa.

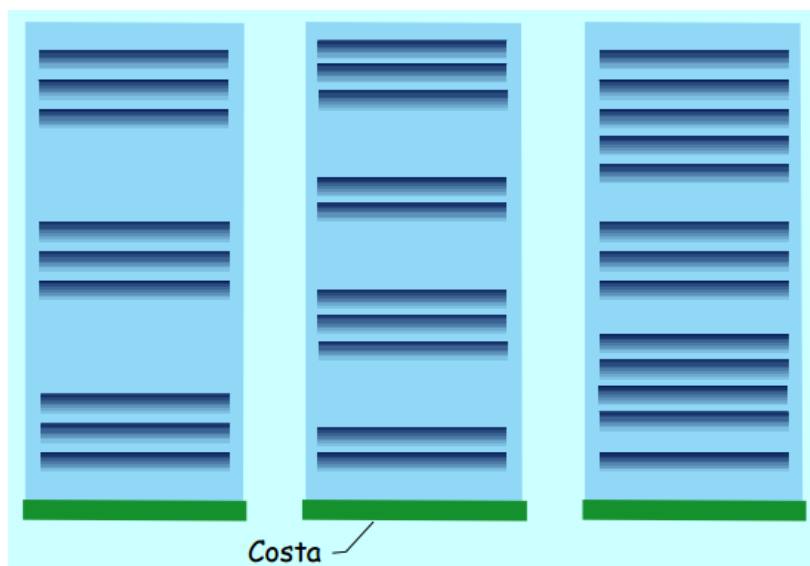


Figura 15. Diferentes formaciones de series de olas

Cuando dos trenes de olas de diferentes periodos se mezclan e interaccionan resulta la misma situación de sumar o restar longitudes de onda. A este mecanismo se le llama superposición lineal de ondas y puede dar como resultado una interferencia destructiva (resta) o una interferencia constructiva (suma). Con el siguiente gráfico podemos ver que si coinciden las crestas de dos tipos de onda se producirá un aumento de altura, en cambio, si dos ondas van desfasadas se restarán sus alturas. Por eso tenemos series de olas seguidas de periodos de mar en calma.

El problema de esta teoría son las excepciones. Aunque las olas tienden a establecerse en grupos de viaje más o menos estable y predecible, están sujetas a la caprichosa acción del viento y a la velocidad de sus ráfagas.

“Cuando intento explicar por qué las olas se agrupan, pongo el símil de la maratón de Nueva York. Las olas que se forman en Groenlandia y alcanzan la costa gallega, salen todas juntas, como ocurre con los maratonianos, pero llegan a la meta agrupadas en diferentes grupos por viajar a distinta velocidad.” Indica Raúl Medina, director del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria en el artículo de Antonio Ortí sobre los vigilantes de las olas (Del, 2016).



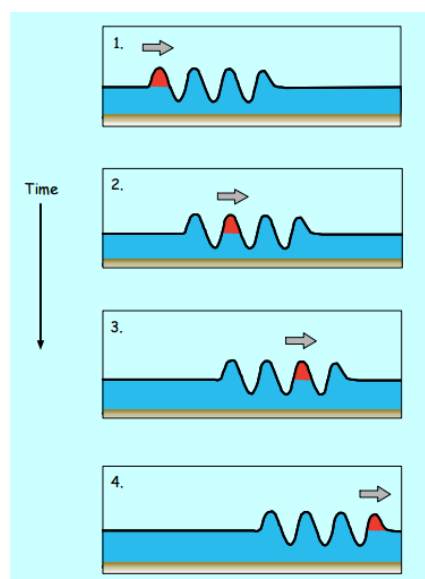
Figura 16. Representación de la mezcla de las olas de diferente longitud

4.2 Velocidad de la ola y velocidad del Swell

Para entender un poco mejor las características del swell debemos recordar que no transporta olas ni transporta agua, de hecho, el swell transporta energía y se desplaza de manera autónoma creando olas que se desplazan hasta la parte delantera del grupo y ahí mueren. La energía transportada viaja a la velocidad del swell, no de la ola.

A medida que el swell se va desplazando sobre la superficie del océano, todas las olas están constantemente moviéndose desde la parte final del grupo hasta la parte delantera.

Figura 17. Esquema de la velocidad de los trenes de olas



En aguas profundas la velocidad de la ola es igual al doble de la velocidad del grupo; en cambio, la velocidad con que el swell viaja a través del océano es aproximadamente 0.78 veces el periodo de una ola.

SIMPLE RELATIONSHIPS FROM AIRY WAVE THEORY

$$wavespeed = 1.56 \times period$$

$$groupspeed = 0.78 \times period$$

$$wavelength = 1.56 \times period^2$$

$$groupspeed = wavespeed = 3.13 \times \sqrt{depth}$$

Figura 18. Cuadro de fórmulas sobre la velocidad del Swell y las olas

4.3 Seguimiento del “Swell”

Otra de las propiedades especiales del “Swell” es que puede viajar grandes distancias trazando círculos máximos (distancia más corta sobre la superficie de una esfera) desde el centro de la borrasca hasta 22.000 km de distancia.

Muchas de las grandes olas que llegan a Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco proceden de Groenlandia e Irlanda, pero también de Terranova (Canadá), epicentro habitual de potentes borrascas. Lo mismo sucede en otras partes del mundo: los ciclones que asolan Nueva Zelanda generan olas que llegan a las playas de Los Ángeles, en California, solo un día más tarde, tras recorrer 11.000 kilómetros sin verse obstaculizadas por masas de tierra (como islas y continentes) que desvíen las ondas que crean las borrascas, los seísmos y los cambios de presión atmosférica.



Figura 19. La propagación del Swell en largas distancias

5 LAS OLAS EN AGUAS POCO PROFUNDAS

En los anteriores temas hemos hablado de lo que ocurre con los trenes de olas cuando se propagan alejándose de la zona generadora y se convierte en un “Free Swell”. Todas las observaciones que hemos asumido se refieren a un grupo de olas viajando por el océano profundo donde el fondo marino está muy lejos de la superficie del mar y no tiene ningún efecto en la forma, velocidad o dirección de las olas.

En esta ocasión, analizaremos la etapa en que las olas entran en aguas poco profundas donde la batimetría del fondo marino sí afecta a las olas. Con unas simples reglas del comportamiento de las olas podremos clasificar y entender cómo las líneas ordenadas de nuestro swell rompen al llegar a un arrecife, una barra de arena o unas rocas en el fondo. De esta manera podremos clasificar las diferentes olas para surfear.

Como ya hemos visto en el tema 5, en el océano profundo el movimiento orbital de las partículas debajo de las olas va disminuyendo y llegan a cero antes de llegar al fondo. Es por eso que la profundidad no afecta a la forma de las olas.

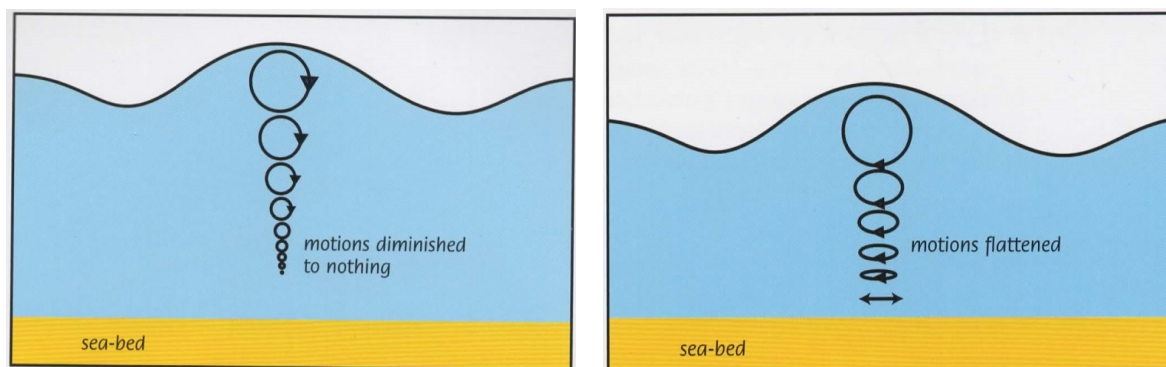


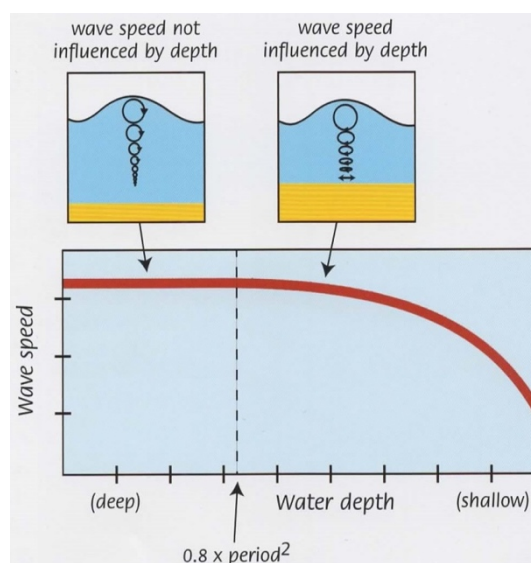
Figura 20. Movimiento de las partículas cuando llegan a aguas poco profundas

Pero una vez que este tren de olas llega a aguas poco profundas, el movimiento orbital de las partículas sí que se ve afectado por el fondo marino que hace que disminuya la velocidad de la ola.

¿A qué profundidad empieza a afectar la ola?

La profundidad en la que las olas empiezan a sentir el fondo depende de su longitud. Las olas más largas, que viajan a más velocidad y transportan más energía, sentirán el fondo mucho antes que las olas cortas. La profundidad en que empieza a afectar a una ola equivale a 0.8 veces el período al cuadrado. Hablamos de período ya que éste no cambia a medida que la ola entra en las aguas poco profundas.

Figura 21. Gráfico de la velocidad a medida que la ola llega a aguas poco profundas



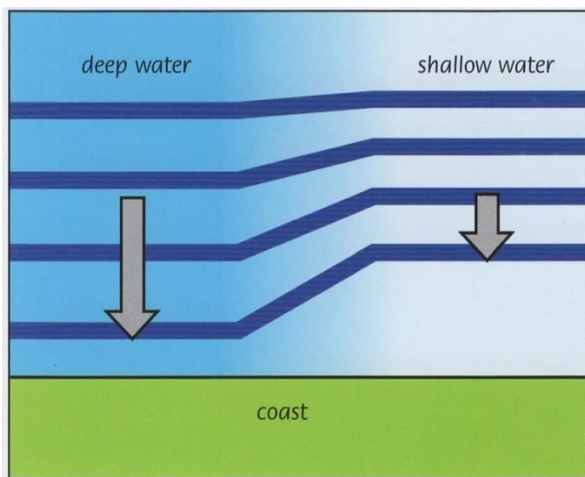


Figura 22. Esquema de proceso de refracción

Sabemos que en el océano la velocidad de las olas depende solamente del periodo de tal manera: velocidad de la ola = $1.56 \times \text{periodo}$. Una vez llegan a aguas poco profundas calculamos la velocidad usando la Ecuación de la Dispersión del oleaje según se indica en el trabajo publicado por José Anta sobre Obras Marítimas y Portuarias (Forzadores & Oleaje, n.d.)

A medida que la profundidad del agua es cada vez menor, la velocidad de la ola pierde gradualmente su dependencia en el periodo y se ve afectada con mayor

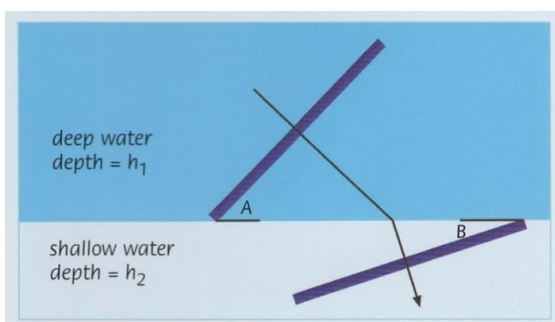
porcentaje por la profundidad en sí misma. Finalmente, en el momento que rompen las olas, depende totalmente de la profundidad y forma del fondo marino. También debemos tener en cuenta de las irregularidades del fondo marino que afectan de manera distinta una misma ola y sus partes. En ese momento la ola sufre el proceso de refracción.

5.1 Refracción

La refracción se produce cuando un tren de olas se dobla o transforma su parte frontal en una curvatura debido a la llegada de aguas poco profundas. Cuando una parte de la ola viaja más despacio que otra, la ola se dobla en dirección a la parte menos profunda, se ralentiza y la otra parte sigue con su velocidad original.

El resultado de la refracción depende del ángulo entre el frente de la ola y los contornos del fondo (batimetría).

Para calcular la cantidad de refracción en casos simples, se utiliza la Ley de Snell.



$$\frac{\sin(A)}{\text{speed in depth } h_1} = \frac{\sin(B)}{\text{speed in depth } h_2}$$

Figura 23. Ley de Snell

5.1.1 Refracción cóncava

Cuando el swell se acerca a un escalón que sobresale del fondo marino, con aguas relativamente profundas a su alrededor; la parte del swell que llega al banco se ralentiza mientras que la otra parte de las olas siguen a su misma velocidad. La parte central se frena y produce olas más cortas y más grandes ya que se concentra mayor energía.

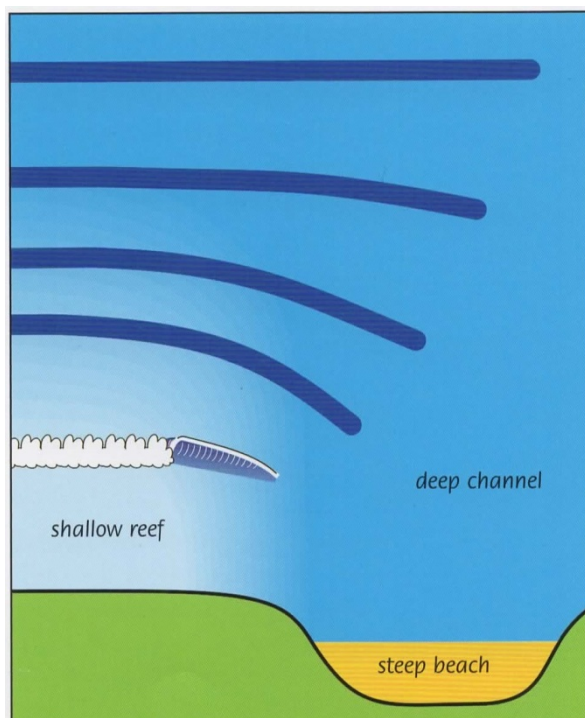
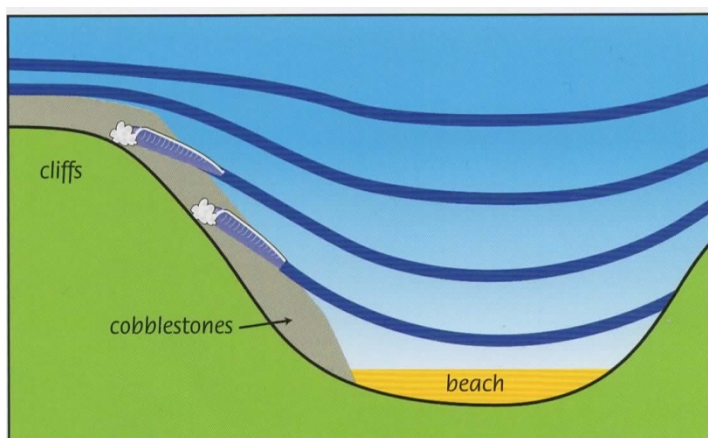


Figura 24. Refracción cóncava del Swell

5.1.2 Refracción convexa



Cuando el swell entero se ralentiza exceptuando la parte central que viaja más rápida que los extremos de la ola. Como resultado las olas se tuercen o doblan hacia fuera y en lugar de convertirse en olas más grandes y concentradas se hacen olas más pequeñas. Este tipo de refracción se llama refracción convexa.

Figura 25. Refracción convexa del Swell

5.2 Transformación en la altura de las olas

Cuando las olas entran en aguas poco profundas, aparte de sufrir el proceso de refracción comentado anteriormente, también tienden a incrementar su altura justo en el momento en que rompen. Éste es un mecanismo separado de la refracción, pero igual de importante. Si la transición de aguas profundas a aguas someras es realmente pronunciada, la altura de la ola se incrementa de manera drástica. Si además le sumamos las propiedades que sufren con la refracción, la altura y el tipo de ola puede ser fenomenal para la práctica del surf.

¿CÓMO FUNCIONA? Debemos imaginar un tren de olas que entra en aguas poco profundas; sabemos que en aguas muy poco profundas la velocidad de la ola depende únicamente de la profundidad. Entonces las primeras olas de este tren reducirán su velocidad mientras que las olas del final seguirán a su velocidad original. Como resultado las primeras olas sufrirán un aplastamiento e incrementarán su altura (efecto acordeón); esto ocurre porque la cantidad de energía se concentra en una corta distancia.

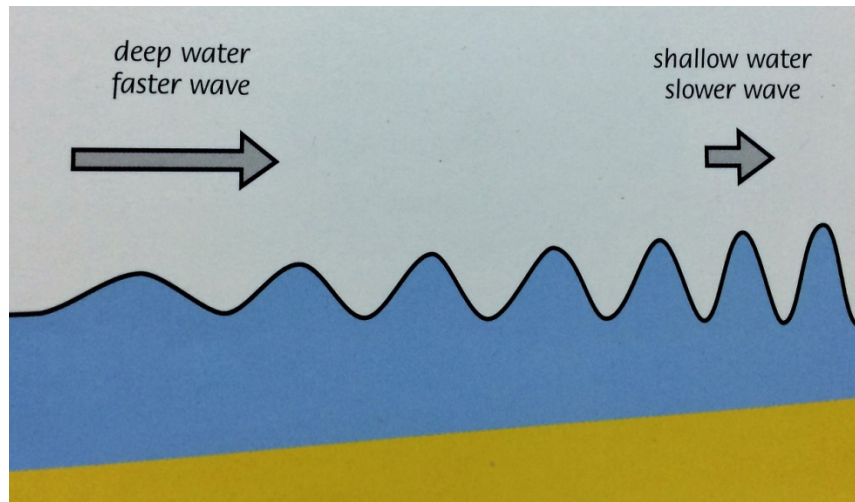


Figura 26. Efecto acordeón

Debemos recordar que cuando las olas llegan a aguas someras, el periodo siempre permanece igual. La distancia entre una ola y la siguiente (la longitud) se reduce para compensar así la cantidad de velocidad que reducen al llegar a aguas poco profundas. Como resultado, el tiempo que necesitan cada ola para pasar de un punto a otro no varía.

6 OLAS DE SURF

En el tema anterior hemos analizado cómo la forma del fondo marino causa la refracción y deforma las olas que llegan a aguas poco profundas y que puede afectar radicalmente a cómo van a romper en la orilla. En este apartado veremos cómo se da el proceso cuando rompe una ola, el por qué y cuándo; y veremos los diferentes tipos de olas para el surf según rompan.

Las diferentes maneras de romper de una ola caracterizan los diferentes estilos del surf. Por ejemplo, una ola que rompe de manera suave y lenta es adecuada para aquellos surfistas principiantes o los que practican el surf en tablas más largas (longboard) y no quieren olas tan radicales. Estas olas son fáciles de surfear y permite aprender maniobras, pero se pueden considerar poco potentes para aquellos surfistas más experimentados.

También existen esas olas más rápidas y más huecas que permiten entrar en el tubo que se forma entre el labio de la ola y la pendiente. Para ello el nivel de surf debe ser mayor y poseer unas condiciones físicas idóneas para revertir cualquier situación peligrosa en el agua. Cada tipo de ola tiene un perfil de rompiente diferente; este perfil depende de varios factores, tales como la altura y longitud de la ola, la fuerza y dirección del viento. Pero probablemente, el factor más influyente en los perfiles de rompiente de una ola es la forma y el tipo de fondo marino.

Empezaremos analizando en primer lugar el por qué rompen las olas y en qué profundidad teóricamente se supone que deben de romper.

6.1 ¿Por qué y cuándo romperá una ola?

Analizando una ola en el momento justo que va a romper, su altura comparada con la profundidad es muy significativa. La parte alta de la ola tiene una altura mucho mayor que la parte inferior, por lo tanto, viaja a una velocidad superior que en su parte baja. Es entonces donde llega un punto en que la parte alta rompe hacia delante (cresta) y la parte baja se ve frenada de manera que la ola forma una pendiente (pared) y su base.

Después de muchos años de experimentos en laboratorios con piscinas de olas artificiales, los expertos se han puesto de acuerdo en una profundidad media de 1.3 metros para saber cuándo romperá una ola. Hay que tener en cuenta que esta regla es totalmente teórica y solo la podemos usar en forma de guía para saber en qué profundidad rompe una ola bajo unas condiciones ideales.

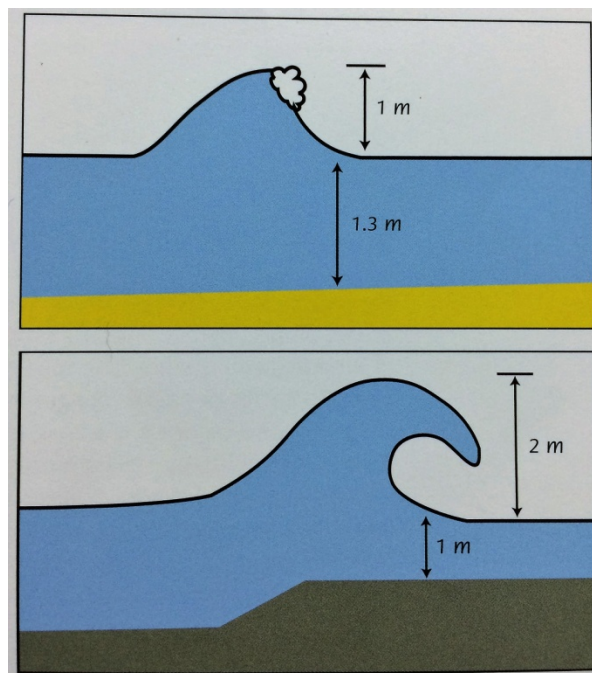


Figura 27. Regla teórica sobre la altura de las olas cuando rompen

6.2 Partes de una ola en el Surf

Hay muchas maneras de clasificar las olas técnica y científicamente, pero en esta ocasión nos centramos en las olas vistas bajo el interés de este trabajo, desde los ojos de un surfista. Sabemos que la forma de una ola sufre muchas variaciones y su modo de romper depende del tipo de fondo, de la dirección del Swell, del viento, también de la marea etc...

La ola que he escogido para diferenciar sus partes es un line-up como Mundaka con viento offshore:

1. **Cresta:** llamamos cresta a la parte más alta de la ola que viaja a una velocidad superior a la parte inferior de la ola y cae hacia delante rompiendo la ola.
2. **Curva:** la curva de la ola es la bajada de la pendiente inclinada que recorremos en los momentos iniciales para hacer el take-off y nos da salida a la pared.
3. **Base:** la base la ola es la parte más baja y el final de la curva. Su velocidad es menor que en la cresta.
4. **La pared:** es la parte surfeable de la ola, limpia de espuma donde el surfista avanza a la velocidad de la ola.
5. **Labio:** el labio es la evolución de la cresta cuando cae hacia delante y forma el tubo entre la curva y la base de la ola.
6. **Pocket:** llamamos pocket a la zona más cercana de la espuma.
7. **Espuma:** cuando el labio de la ola cae, choca contra la base de la ola y se forma una turbulencia en forma de espuma blanca.



Figura 28. Ola de Mundaka, País Vasco

6.3 Otros factores que influyen al romper una ola

Otros de los factores que influyen al romper una ola son, en primer lugar, la calidad del Swell. El Swell que llega a la playa donde queremos surfear debe contener una gran proporción de olas ordenadas de corto periodo o largo periodo, dependiendo desde donde haya viajado ese swell. Las olas de periodos cortos poseen una pendiente más inclinada que las olas de periodos largos de su misma altura.

6.4 Perfiles de rompiente de una ola y su clasificación según el número de Iribarren

Saber qué perfil tiene la ola que se va a surfear es imprescindible para la colocación en el pico y el tipo de tabla que se va a usar, por ejemplo.

Spilling breaker



Plunging breaker



Surging breaker

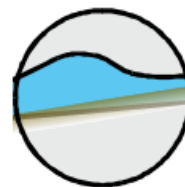


Figura 29. Perfiles de los tipos de ola

Existen tres tipos de perfiles que de manera oficial clasifican las olas.

1. **The Spilling breaker:** su traducción sería una ola que se va derramando. Es una ola que rompe de manera lenta sin potencia para formar un tubo.



Figura 30. Ola de Taghazout, Marruecos

2. **The Plunging breaker:** su traducción literal es una ola que se hunde. La parte delantera toma el efecto de hundirse y forma el tubo perfecto para el surf. Generalmente son las mejores olas para surfear y con más potencia.



Figura 31. Ola de Hondarríbia, País Vasco

3. **The Surging breaker:** son las olas que llegan a la orilla y avanzan y retroceden sin romper de una manera efectiva para el surf.



Figura 32. Playa de Bondhi, Australia

4. **The Collapsing Breaker:** En algunos libros también incluyen una cuarta categoría, entre plunging y surging, llamada collapsing breaker.

Estos perfiles de la ola se pueden cuantificar con el **número de Iribarren**. Ramón Iribarren (Irún 1900 – 1967) era ingeniero de Caminos, catedrático y jefe de los Puertos de Guipúzcoa. Fue quien modeló los efectos que sucedían al romper una ola gracias a una serie de experimentos de laboratorio pero que no consideraban el efecto del viento.

El número de Iribarren es el siguiente:

$$\boxed{\text{número de Iribarren}} = \boxed{\frac{1.25}{\sqrt{\text{altura de la ola}}}} \times \boxed{\text{periodo de la ola}} \times \boxed{\text{inclinación de la playa}}$$

Figura 33. Número de Iribarren

Sabiendo que:

- **Spilling:** $n^{\circ} \text{ Iribarren} < 0.4$
- **Plunging:** $0.4 > n^{\circ} \text{ Iribarren} < 2.0$
- **Surging:** $n^{\circ} \text{ Iribarren} > 2.0$

Ejemplos de Iribarren: ("Acercamiento a la costa y cuando rompe la ola Velocidad de las olas en aguas poco profundas," n.d.)

- Una ola de 4 metros con un periodo de 10 segundos. ¿cómo será el perfil cuando rompa...?
 - a) en una playa de inclinación 1/20?
 $(1.25/\sqrt{4}) \times 10 \times 1/20 = 0.31$ SPILLING
 - b) en una playa de inclinación 1/10?
 $(1.25/\sqrt{4}) \times 10 \times 1/10 = 0.63$ PLUNGING
 - c) en una playa de inclinación 1/3?
 $(1.25/\sqrt{4}) \times 10 \times 1/3 = 2.08$ SURGING

6.5 Cómo leer las olas

Leer las olas y la dirección en la que rompen es una de las habilidades más importantes en el surf. Elegir la ola que surfearemos implica la observación, fundamental, de cada serie que entre en nuestro spot.

Para remar esas olas que abren tanto a la derecha como a la izquierda debemos mirar la línea del horizonte e identificar el punto más alto de la ola que viene; así sabremos hacia qué lado abrirá la ola. Gracias a la línea recta del horizonte podemos determinar el ángulo de la ola.

Cuando hayamos identificado el punto más alto de la ola, la parte con el ángulo más cerrado nos indica que la ola va a romper más rápido si la pendiente es menor y más lento si la pendiente es pronunciada.

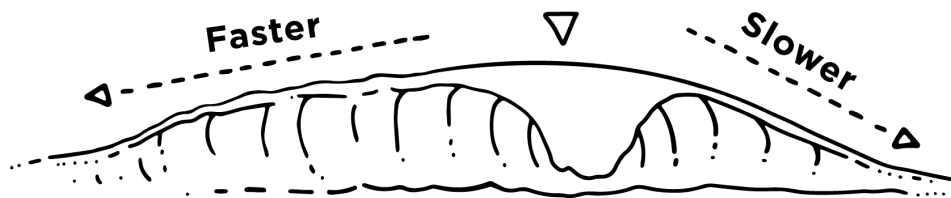


Figura 34. Esquema de velocidades de una ola

7 LAS MAREAS

Para nosotros, los surfistas, las mareas son un concepto vital que aprender. En muchas de las playas donde se practica el surf alrededor del mundo, las mareas afectan a la calidad de la ola de una manera u otra; y en muchos casos son el factor más importante para surfear en un spot concreto.

Desde hace muchas décadas siempre se ha tenido en cuenta la existencia de las mareas, aunque hasta el siglo XVII no se descubrieron los principios básicos del funcionamiento de las mareas. Isaac Newton plasmó su idea de la Fuerza gravitatoria en el libro *Philosphis Naturalis Principia Mathematica* pero no fue hasta el 1799 cuando Laplace publicó la Teoría Dinámica de las Mareas que nos aclara ciertos factores que Newton no pudo considerar y, al hacerlo, nos acerca un poco más a descubrir cómo se comportan las mareas que observamos.

En el estudio de las mareas quizás se necesite algo más de teoría avanzada para llegar a explicar punto por punto el complicado sistema de fuerzas inerciales y gravitacionales. En mi caso, describiré de manera más simple todo este proceso para el fácil entendimiento de cara a la idea principal de este trabajo, analizar todos aquellos aspectos relacionados con las olas óptimas para la práctica del surf.

El principal factor en las mareas es la Luna, un satélite natural que orbita alrededor de la Tierra; aunque su tamaño sea mucho menor que el de la Tierra existe una fuerza gravitacional entre los dos cuerpos y, por lo tanto, una fuerza inercial de despegue entre ambos. En la siguiente figura podemos ver las dos fuerzas que mantienen el sistema Tierra – Luna en equilibrio.

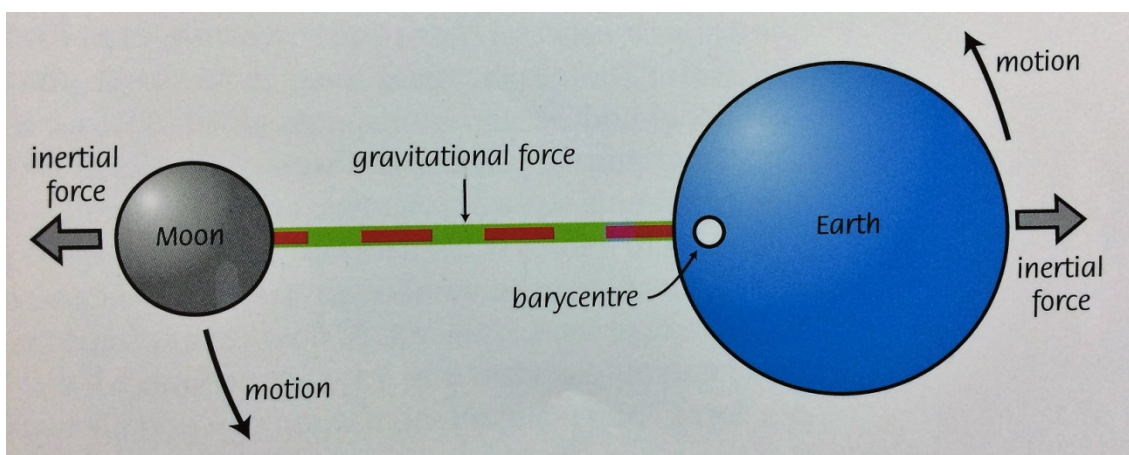
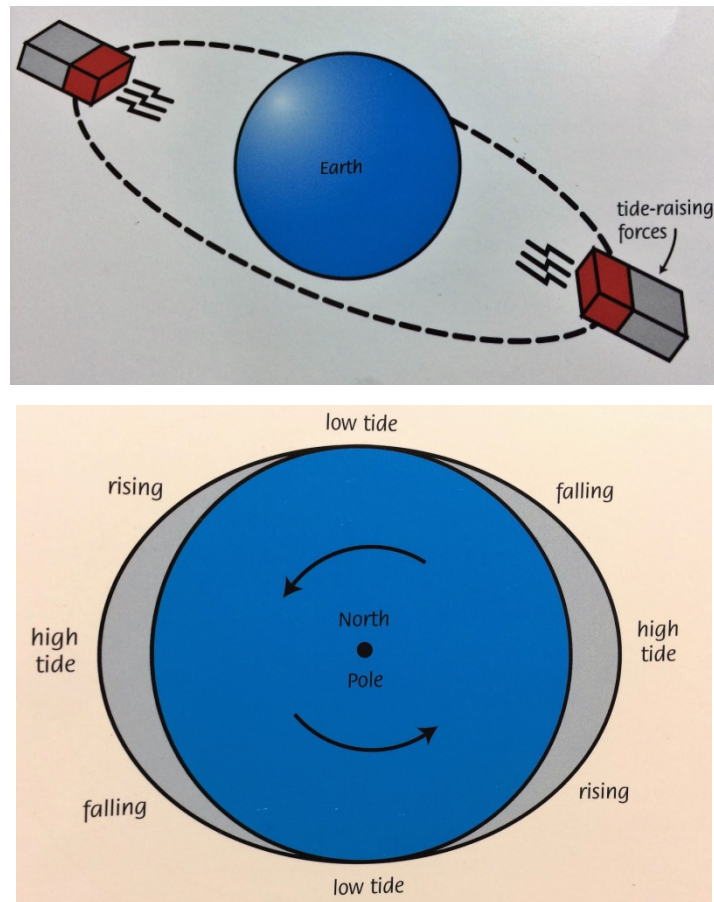


Figura 35, 36 y 37. Sistema de fuerzas entre la Luna y la Tierra



En este sistema la Luna atrae hacia sí una parte del agua de la tierra, produciendo la marea alta; como la Tierra gira alrededor de su propio eje bajo las protuberancias creadas por la atracción de la Luna, eso produce las dos mareas altas y dos mareas bajas al día.

Además, debemos tener en cuenta que no solo la Luna tiene una fuerza de atracción con la Tierra, también está el Sol. En menor medida, debido a la gran distancia entre los dos cuerpos, posee una fuerza de atracción también.

La altura de la marea, por lo tanto, en cualquier punto de la superficie terrestre es la suma de la protuberancia lunar y la protuberancia solar. Cuando la luna y el sol están alineados (conjunción u oposición), los efectos de las mareas se suman, dando como resultado mayores Altas y menores Bajas (mareas Vivas). Cuando están en ángulo recto entre sí (cuadratura), sus efectos en la marea se contrarrestan entre sí, resultando menores Altas y mayores Bajas (mareas Muertas).

En la siguiente figura se puede apreciar el efecto del Sol y la Luna en las mareas de la Tierra, la escala usada en este diagrama es totalmente irrealista.

8 LAS CORRIENTES

Las corrientes que estudiaremos son el mecanismo que transporta agua hacia el océano una vez ha llegado a la costa al romper las olas. En las aguas profundas, como ya hemos visto en apartados anteriores, las olas no transportan agua, sino que transportan energía y las partículas se desplazan en círculos hasta que se disipa el movimiento.

Sin embargo, cuando las olas rompen en la costa, hay un flujo masivo de agua desde el punto de rompiente hasta la costa. Y obviamente, toda esta agua debe retornar al mar y para ello debe encontrar el camino a veces marcado por la geomorfología del lugar y a veces marcado por la fuerza y la dirección del Swell.

El gráfico más básico de una corriente se produce en el típico rompiente de arena que al menos tenga dos barras de arena en el fondo. Ya que el fondo marino no es nunca uniforme las olas se concentran en las áreas de menor profundidad y el agua sobrante volverá por las zonas de más profundidad.

Analizando la siguiente figura vemos que existe un cambio de presión en los dos puntos donde se encuentran las barras de arena en el fondo. Tal y como sucede en los sistemas

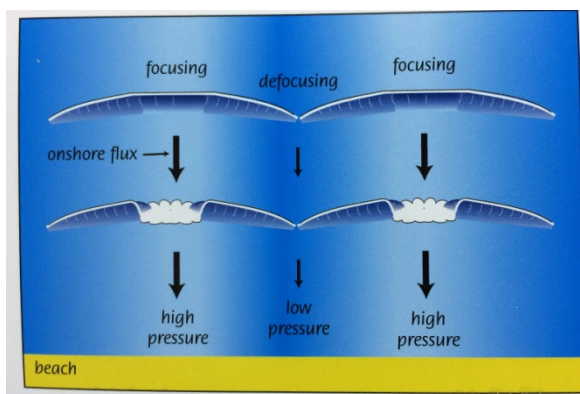


Figura 38. Inicio de la corriente en caudal

de presión en la atmósfera, las zonas de más presión alimentarán las zonas de baja presión. El agua diverge de las zonas de rompiente hacia las zonas de menos presión para volver hacia el mar, creando así la típica corriente que se retroalimenta según la fuerza de las olas. Además, el continuo paso del agua por las zonas más profundas irá creando un canal en el fondo que separe las barras de arena y así será más fácil mantener este sistema.

Debemos tener en cuenta que las corrientes poseen un caudal o fuerza que puede llegar hasta los 3 m/s; una vez que nos encontremos en alguna corriente nunca debemos remar en contra ya que acabaría agotando nuestras fuerzas y podrían ocurrir entonces los accidentes más graves. Cuando un surfista se ve atrapado en una corriente debe remar hacia los lados para intentar salir o dejarse llevar, a veces las mismas corrientes te llevan al mismo punto de rompiente de la ola.

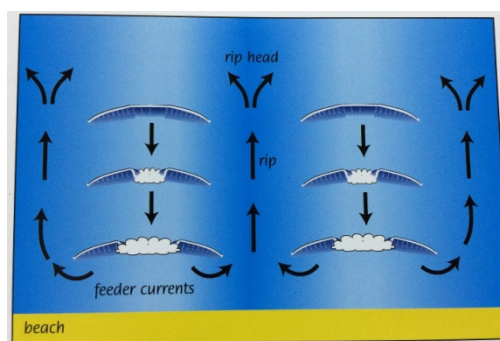


Figura 39. Desarrollo de la corriente en caudal

Para describir un poco mejor las corrientes y sabiendo que son un punto muy interesante para los surfistas, a continuación, describiré algunos de los muchos tipos de corrientes que existen.

8.1 Tipos de corriente

Corrientes de sedimentación

Son muy parecidas a las corrientes que hemos descrito más arriba, normalmente son sistemas de corrientes que aparecen cuando la altura de la ola es de 1.5 metros. En estas condiciones de olas pequeñas la arena gradualmente se desplaza hacia la costa acrecentándola. La zona donde puede ocurrir este tipo de corriente puede variar desde los 50 metros hasta los 500 metros de distancia respecto a la costa.

Las corrientes de sedimentación son las más comunes en la mayoría de playas cuando las condiciones son óptimas para el surf. Es por ello que, en estas corrientes ocurren el mayor número de accidentes con los bañistas y los surfistas. La altura de las olas invita a entrar a un número mayor de personas al agua que desconocen el efecto de las corrientes.

Corrientes de erosión

Estas corrientes ocurren cuando llegan olas largas y con una altura mayor de 1.5 metros a la costa. Están asociadas al proceso de erosión del fondo marino costero ya que los sedimentos que transportan desde el punto de rompiente hasta la costa son especialmente significativos; esta condición las describe especialmente porque no son corrientes controladas por la batimetría del fondo sino por la fuerza hidráulica de las olas. Esto significa que sus características dependen de las previas condiciones de las olas y no de la forma inicial del fondo.

La energía que llega con las olas es tan grande que da forma y arrastra los sedimentos de manera tan significativa que entre hay una separación de cientos de metros entre estas corrientes formadas por el mismo swell potente.

Corrientes marcadas por la topografía

Están controladas por la topografía tanto en el fondo marino como en la superficie y esto es debido por ejemplo a algún saliente natural, acantilado o bahía y también por alguna barrera artificial como un dique o espigón. Con estas condiciones físicas la corriente siempre se situará en la misma zona y actuará de la misma forma. En la siguiente imagen podemos ver cómo es una corriente restringida por la forma de la tierra, en algunos casos puede llegar a convertirse en una corriente rotacional ya que el profundo canal por donde vuelve el agua llega directamente al mismo punto de rompiente.

Existen varias playas en el litoral español donde se producen este tipo de corriente; la playa de Islares en Cantabria posee varias características que la hacen única para la práctica del surf. Situada en la desembocadura del río Agüera y formando una bahía con las poblaciones de Oriñón y Sonabia, existe una playa donde ocurre este tipo de corriente cuando llega la mar gruesa característica del mar Cantabro.

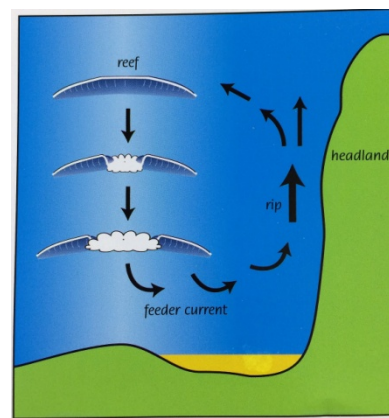


Figura 40. Corriente marcada por la topografía

La mega-corriente

Simplemente se definen como las grandes corrientes que se forman cuando las olas superan los 3 metros de altura. Estas corrientes pueden llegar a alcanzar los 3 metros por segundo de caudal, casi el doble de velocidad que las corrientes normales. Cuando aparecen estas mega-corrientes actúan como verdaderos conductores de sedimentos, erosionando la costa y actuando en una zona de hasta 500 metros.

Corrientes de deriva en la costa

Es un tipo de corriente producido por la rompiente de las olas aunque no es una corriente en el verdadero significado de la palabra. Es un proceso muy común en las playas donde se practica el surf por eso las tenemos en cuenta a la hora de tipificar las corrientes.

Se produce cuando el swell que llega viene en una dirección oblicua a la costa, el agua se desplaza casi paralelamente a la costa y el flujo más potente se produce entre la rompiente y la costa. En la siguiente imagen se puede apreciar el esquema de este tipo de corriente o deriva.

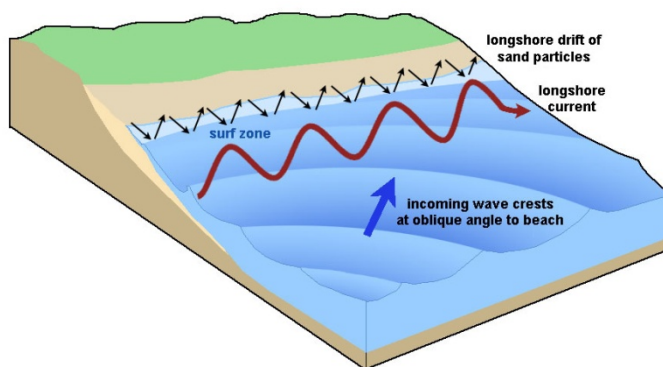


Figura 41. Gráfico de la corriente de deriva en la costa

En el mundo existen dos lugares muy comunes donde sucede un proceso igual y produce algunas de las mejores olas del mundo para surfear. Claros ejemplos son en la costa oeste de Marruecos en la costa de Agadir, Skeleton Bay en Namibia o en el Puerto de Chicama en Perú.

9 PREVISIÓN DEL OLEAJE “SURF FORECASTING”

Hoy en día, cualquiera de nosotros tiene acceso a la previsión de las olas en internet que le proveerá la información suficiente para saber dónde ir, qué tabla llevar, qué neopreno ponerse, etc. Las webs más novedosas te van a indicar valores específicos de un sitio, de una sola altura, de un período y una dirección de un swell concreto. Aparentemente todos estos datos están sacados de un programa complejo que nosotros no podemos entender.

En realidad, con estas herramientas y esta información tenemos más que suficiente para decidir dónde ir a surfear y qué condiciones nos encontraremos. Pero, a veces, al llegar a una playa donde se esperaban más de 2 metros de ola y no es así, entonces nos preguntamos qué es lo que ha pasado. Debemos saber que la información que nos proporcionan no nos basta para describir exactamente cómo serán las olas al día siguiente al romper en la costa.

Es por ello, que en este apartado intentaré explicar, sin entrar en gran profundidad, qué es lo que debemos tener en cuenta para poder leer bien un parte de olas: de dónde viene el Swell, que trayectoria tenía la tormenta que produjo el Swell, qué vientos había en el Área Generadora...

Deberemos recurrir a algunas de las herramientas de predicción de olas de la vieja escuela. La más útil de estas herramientas es la Carta sinóptica de isóbaras, también existen las cartas de vientos, cartas de altura de olas y periodos y las medidas de las boyas.

La carta sinóptica de isóbaras: la herramienta original de la previsión de surf

La carta sinóptica de isóbaras nos indica la presión atmosférica de una zona determinada a una altura de unos 10 metros de la superficie. La presión atmosférica se mide en hectopascales (hPa) o milibares (mb). El peso que toda la atmosfera ejerce sobre la superficie terrestre suele ejercer una presión de unos 1000 mb, este valor puede variar según las condiciones de la zona (zonas de Bajas presiones 800 mb y zonas de Altas presiones 1).

Las cartas representan el campo de presión usando líneas de contorno de igual presión, dichas líneas son las isóbaras. Cuánto más juntas estén estas líneas mayor será el gradiente de presión (el cambio de presión en una cierta distancia) y más fuerte será el viento en esa región. Por lo tanto, cuánto más juntas estén las isóbaras, mayor será el viento y mayores serán las olas creadas; que al fin y al cabo es la información que queremos saber.

En el hemisferio norte el viento sopla en el sentido contrario de las agujas del reloj alrededor de una Baja presión y en sentido horario en las zonas de Altas presiones. En cambio, en el hemisferio sur ocurre totalmente al revés.

Por la orientación y el número de isóbaras podemos identificar la posición de una tormenta en medio del océano y con un poco de experiencia podremos saber cuál es el fetch³ de la tormenta, a qué velocidad viajará ese swell y cómo se verá afectado al toparse con la

³ Fetch: área donde el viento generador influye en la superficie del mar.

plataforma continental. También podemos prever la altura de las olas y el momento en que llegará a la costa, así como las condiciones del viento local.

Cartas de previsión de olas

Estas cartas nos dan el análisis y la previsión de las características de las olas en una zona concreta del océano. Son muy útiles si quieres saber la predicción de la evolución de un swell durante los siguientes días, rastrearlo y seguirlo desde el centro de la tormenta hasta la costa.

El principal parámetro es la altura de las olas y normalmente está indicado en las cartas con diferentes colores que representan diferentes rangos de alturas. La convención normal de colores es tener los colores más claros en la escala más baja y los colores más fuertes en la escala más alta como se puede ver en la siguiente figura.

También existen los diagramas que indican el periodo de las olas, normalmente los periodos largos significan swells más ordenados. También en algunas cartas de periodos de olas hay una línea negra más gruesa que representa un cambio brusco en el periodo; es el frente del Swell. Muy útil para saber cuándo llegará el swell a nuestra costa.

Cartas de previsión del viento

Las cartas de previsión del viento funcionan con el mismo principio que las cartas de previsión de olas, aunque nos enseñan la fuerza y la dirección del viento en el océano. Son un complemento perfecto para las cartas sinópticas, con éstas puedes identificar y seguir el movimiento de los sistemas de bajas y altas presiones y con las cartas de previsión del viento puedes identificar los fetchs y seguir su evolución.

La fuerza del viento también se representa por colores y la dirección se representa por las flechas o barbas.

Debemos saber que las flechas apuntan la dirección en la que se propaga el viento, por lo tanto, nos indica de dónde viene y hacia dónde va. Por ejemplo, una flecha que apunta hacia el Norte significa que es un viento Sur y se propaga hacia el Norte.

Informes de las boyas

Para obtener un valor real de la información medida en el mar en un tiempo relativamente corto podemos usar los datos que recogen las boyas. Estas están en el océano constantemente midiendo alturas, periodos, velocidad del viento y dirección. Todo lo que pueden hacer es realizar mediciones en tiempo real utilizando los diferentes instrumentos que llevan a bordo. De estas mediciones podemos ver el estado del mar y su evolución en las horas previas.

Debido a cómo afectan las pequeñas profundidades a las olas que llegan veremos que hay una diferencia entre la ola medida en la ola y la ola que llega a nuestra costa. Esta reducción de la altura no varía solo de spot en spot sino también se ve afectada por la calidad y dirección del swell.

9.1 Cómo leer un parte de olas

Para predecir las olas hoy en día disponemos de aplicaciones para móvil y páginas web al alcance de la mano para todos los usuarios. Es muy fácil tener la información del spot que queramos esté donde esté; existen una serie de parámetros o datos relativos al estado del mar: dirección del Swell, dirección del viento, altura significativa de las olas, fuerza del viento y el periodo.

Sabemos que la dirección del oleaje debe ser lo más directa posible hacia el spot y que el viento debe tener poca fuerza y una dirección terrenal para que ayude a levantar la pared de la ola. Pero el dato que más influye en la creación de buenas olas es el periodo.

El periodo está directamente relacionado con la energía de las olas, como ya hemos explicado anteriormente. Por definición, el periodo es el tiempo medio (en segundos) que transcurre entre que dos crestas consecutivas de la ola pasen por el mismo punto. Por lo tanto, un periodo alto (que es lo que buscamos en nuestro surf report) significará alguna de las tres opciones:

1. El tamaño de las **olas** es **grande**, ya que cuanto mayor sea la altura de las olas mayor será el tiempo que transcurre entre los dos puntos de la ola, eso significa periodo alto.
2. El **swell** llega muy bien **definido**, con olas muy ordenadas porque ha tenido tiempo suficiente desde la creación de olas de tormenta en alta mar hasta llegar a la playa. Eso nos dará una sesión de olas casi perfectas.
3. Las **olas** poseen mayor **energía** que las que tienen periodo bajo, han llegado ordenadas a la playa y han sido capaces de sostener mayor energía a medida que viajan a través del océano.

Es decir, aquello que los surfers buscamos es un buen tamaño de olas, periodos altos y nada de viento local; eso nos dará una sesión de olas con fuerza, largas y ordenadas.

En varios sitios web para consultar esta información aparece un ratio de 5 estrellas para indicar la calidad de la ola a cada hora teniendo en cuenta todos estos factores anteriormente descritos.

Las principales páginas web para leer el parte de surf diario son:

<https://magicseaweed.com/>

<http://surfmediterraneo.com/catalunya/>

Aunque la intención de este trabajo mi intención es poder leer y descifrar uno mismo cuándo, cómo y dónde llegará el swell a nuestra zona. Con toda la información que poseemos de la formación de las olas únicamente debemos tener en cuenta la formación de depresiones y vientos fuertes a cierta distancia de nuestras costas, saber cuál es la dirección del viento portante y comparando con los mapas de oleaje saber cuándo llegaran las olas a nuestras costas.

Para ello tenemos la página web de Puertos del Estado, que nos ofrece la predicción del viento, oleaje y nivel del mar mediante las boyas y mareógrafos de alta mar.

<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Además, si queremos una predicción más detallada podemos consultar el FNMOC (*Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center*) que nos ofrece mapas del oleaje local con un alcance de 3 días.

<http://surfmediterraneo.com/previsiones/mapas.php?que=olas&cual=fnmoc>

10 CONCLUSIONES

Al haber realizado este trabajo puedo extraer las conclusiones sobre cuál es el procedimiento o esquema de la formación del oleaje ordenado, limpio y grande que cualquier persona que practica el surf ansia disfrutar.

Sabemos que las olas que llegan a nuestra playa se forman muchos kilómetros mar adentro y sufren una serie de procesos antes de que podamos surfearlas. Cuando una gran borrasca se forma en medio del océano desencadena un Viento Generador intenso en una zona determinada que produce variaciones u ondulaciones en la superficie del mar. Ése Viento Generador transmite su energía Cinética a las partículas de agua dándoles una velocidad y una dirección. Las olas que se hayan producido más cerca de la borrasca serán más grandes que las que se hayan producido más lejos de ella; después de un tiempo viajando las olas se irán ordenando y agrupando según su velocidad o longitud de ola.

Este proceso se puede ver afectado por otros vientos generadores o formaciones terrestres como islas, haciendo desaparecer o desordenar el Swell generado que seguimos.

Una vez este Swell llega a zonas menos profundas, nuestras playas, el rozamiento del fondo marino provoca que la altura de la ola se incremente de tal manera que la velocidad de las partículas de arriba sea más alta que la velocidad de las partículas de la parte inferior provocando así que la ola rompa. Si este efecto se produce de manera uniforme y paulatino la ola que podremos surfear romperá limpia y la podremos disfrutar más tiempo.

Por eso, debemos tener en cuenta también la morfología de la costa; ese aspecto, además, nos ayudará a identificar los diferentes perfiles de las olas. Si tenemos un fondo arenoso, la ola romperá derramándose; aunque si existen barras de arena o algunos fondos sedimentados provocará que la ola rompa de forma brusca y de golpe.

Otro caso es el fondo rocoso, se produce así un escalón (slab) en el fondo que provoca un Point Break en el mar, es decir, un punto o pico donde empieza a romper una ola que normalmente posee buenas características para surfear: tubo o pared grande.

Todas estas olas que llegan a nuestra playa también se pueden ver afectadas por los vientos locales, estropeando así el swell lejano y ordenado. Proceso explicado por la diferencia de temperaturas del mar y la tierra al incidir el Sol.

Por último, en este trabajo defino brevemente los pasos que debemos seguir para estar informados de los swells que llegan a nuestras costas, saber leer el parte de olas para los próximos días sabiendo el significado de todo lo que nos proporcionan; así poder sacar nosotros mismos una conclusión y saber escoger bien dónde ir.

A título personal, me siento agradecido de haber tenido la oportunidad de hacer este trabajo sobre aquello que es mi pasión. Aunque siempre la auto exigencia forma parte de mi creo haber alcanzado aquello que quería transmitir.

11 BIBLIOGRAFIA

Butt, T. (2014). **Surf Science - An introduction to waves for surfing.** Honolulu, Hawaii.

Cervantes Falomir, M. (2011). **Análisis del efecto Coriolis y su influencia en la circulación global atmosférica.**

Del, D. E. A. (2016). **Los vigilantes de las olas.**

Ferrer, A. M., Criado, J. C., Rodriguez, E. B., Metereología, A. E. De, & Castro, P. (n.d.). **Modelización del oleaje a muy altas resoluciones.**

I. R. Young, G. H. (1996). **Atlas of the Oceans: Wind and Wave Climate.** (1996 Elsevier, Ed.) (ilustrada). Universidad de Michigan.

Martínez de Osés, F. X. (2006). **Meteorología aplicada a la navegación.** Barcelona : Edicions UPC.

Moral Villar, M. E. del. (2003). **El Mecanismo climático mundial : la circulación general atmosférica como principal maquinaria generadora del clima y la aplicación de su conocimiento en el transporte marítimo.**

Paul D. Komar. (1976). **Beach Processes and Sedimentation.**

Acercamiento a la costa y cuando rompe la ola Velocidad de las olas en aguas poco profundas. (n.d.).

Scott, T. M., Russell, P., Masselink, G., Austin, M. J., Wills, S., & Wooler, A. (n.d.). **Rip Current Hazards on the United Kingdom,** (1999).

La circulación Atmosférica Global (Martínez de Osés, 2006) (Cervantes Falomir, 2011)

12 FIGURAS

- FIGURA 1 **Criterio térmico.**
Fuente: <http://www.cienciasatlantico.blogsek.es/2014/11/07/anticiclones-borrascas-y-viento/>
- FIGURA 2 **Criterio dinámico de la atmósfera.**
Fuente: <https://es.slideshare.net/RosaGarca2/ctma-8-atmosfera>
- FIGURA 3 **Esquema tricelular.**
Fuente: http://cataleg.upc.edu/record=b1306953~S1*cat
- FIGURA 4 **Inclinación de la Tierra respecto al Sol.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 5 **Esquema de la brisa marina de día y de noche.**
Fuente: <https://es.slideshare.net/dianagesama/temperatura-y-circulacin-2>
- FIGURA 6 **Ilustración simplificada de los patrones anuales de borrascas y anticiclones durante todo el año.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 7 **Tabla representativa del Calor Específico del mar y la tierra.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 8 **Formación y desarrollo de una Baja Presión.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 9 **Ecuación del viento geostrófico.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 10 **Representación de las diferentes direcciones del aire cuando sopla en la superficie del mar.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 11 **Progresión de una ola.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 12 **Dentro de la tormenta el viento transfiere su energía a las olas; fuera de la tormenta las olas viajan sin la influencia del viento.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii

- FIGURA 13 **Representación de una Borrasca en el NE de Irlanda que viaja hacia el Sur. Cuánto más viaja el Swell más ordenadas llegan las olas a la costa.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 14 **Tipos de ola según el input de viento que reciben.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 15 **Diferentes formaciones de series de olas.**
Fuente: http://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/contenidos/informacion/kiroleskola/eu_kirolesk/adjuntos/5.acercamiento%20a%20la%20costaB.pdf
- FIGURA 16 **Representación de la mezcla de olas de diferente longitud.**
Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Waves/wpack.html>
- FIGURA 17 **Cada ola del grupo viaja al doble de la velocidad del grupo, resultando pues un constante movimiento de olas desde la parte de atrás del grupo hacia la parte delantera. Fluye así el grupo de olas o serie con su propia velocidad.**
Fuente: (Ferrer, Criado, Rodriguez, Metereología, & Castro, n.d.)
- FIGURA 18 **Cuadro de fórmulas sobre la velocidad del Swell y las olas.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 19 **La propagación del swell en largas distancias.**
Fuente: http://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/contenidos/informacion/kiroleskola/eu_kirolesk/adjuntos/4.propagacion%20de%20mar%20de%20fondo.pdf
- FIGURA 20 **Movimiento de las partículas cuando llegan a aguas poco profundas.**
Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Waves/watwav2.html>
- FIGURA 21 **Gráfico de la velocidad a medida que la ola llega a aguas poco profundas.**
Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Waves/watwav2.html>
- FIGURA 22 **Esquema del proceso de refracción.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 23 **Ley de Snell.**
Fuente: (Paul D. Komar, 1976)
- FIGURA 24 **Refracción cóncava del Swell.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii

- FIGURA 25 **Refracción convexa del Swell.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 26 **Efecto acordeón.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 27 **Regla teórica sobre la altura de las olas cuando rompen.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 28 **Ola de Mundaka, País Vasco.**
Fuente: <https://magicseaweed.com/Mundaka-Surf-Guide>
- FIGURA 29 **Perfiles de los tipos de ola.**
Fuente: ("Acercamiento a la costa y cuando rompe la ola Velocidad de las olas en aguas poco profundas," n.d.)
- FIGURA 30 **Ola de Taghazout, Marruecos.**
Fuente: <https://images.google.com/>
- FIGURA 31 **Ola de Hondarribia, País Vasco.**
Fuente: <https://images.google.com/>
- FIGURA 32 **Playa de Bondhi, Australia.**
Fuente: <https://images.google.com/>
- FIGURA 33 **Número de Iribarren.**
Fuente:
http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0102/travaux/optsee/bei/2/g2s/Wave_Breaking_and_Reflection.pdf
- FIGURA 34 **Esquema de velocidades de una ola.**
Fuente: <http://www.wearesurfer.net/2016/09/how-to-read-waves.html>
- FIGURA 35 **Sistema de fuerzas entre la Luna y la Tierra.**
Fuente: (Butt, 2014)
- FIGURA 36 **Sistema de fuerzas entre la Luna y la Tierra.**
Fuente: (Butt, 2014)
- FIGURA 37 **Sistema de fuerzas entre la Luna y la Tierra.**
Fuente: (Butt, 2014)
- FIGURA 38 **Inicio de la corriente en caudal.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii
- FIGURA 39 **Desarrollo de la corriente en caudal.**
Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing. Honolulu, Hawaii

FIGURA 40 **Corriente marcada por la tipografía.**

Fuente: Butt, T. (2014). Surf Science - An introduction to waves for surfing.
Honolulu, Hawaii

FIGURA 41 **Gráfico de la corriente de deriva en la costa.**

Fuente:
http://geography.unt.edu/~williams/geog_3350/examreviews/coastlines.ht

